

Aus dem Lehrstuhl für Hygiene und Technologie der
Lebensmittel tierischen Ursprungs
des Fachbereichs Tiermedizin
der Universität München

Vorstand: Prof. Dr. Dr.h.c. L. Kotter

Arbeit angefertigt
unter Leitung von Wiss. Rat. Dr. W. Kreuzer

Untersuchungen
über das Verhalten von ⁶⁵Zn bei Hähnen und Hennen
nach wiederholter oraler Applikation,
ein Beitrag zur Abschätzung des Kontaminations-
risikos für den Verbraucher

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
des Fachbereichs Tiermedizin
der Ludwig-Maximilians-Universität
München

von
Egon Robert Schwarz
aus
Ellwangen

München 1975

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Tiermedizin
der Universität München

Dekan: Prof. Dr. B. Vollmerhaus

Referent: Wiss. Rat Dr. W. Kreuzer

Korreferent: Prof. Dr. I. Gylstorff

Tag der Promotion: 21. Februar 1975



Meinen Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

A. Einleitung und Problemstellung	1
B. Literatur	2
I. Das Radionuklid ^{65}Zn	2
II. Der Biozyklus des ^{65}Zn	3
III. Biochemie des Zn	5
IV. Physiologie des Zn	6
1. Allgemeines	6
2. Resorption	6
3. Exkretion	8
4. Zn im Stoffwechsel und sein Verteilungsmuster im Körper	9
V. Zinkintoxikation	11
VI. Zinkmangel	12
VII. ^{65}Zn in Lebensmitteln tierischer Herkunft	13
C. Eigene Untersuchungen	15
1. Allgemeines	15
2. Versuchstiere	15
3. Versuchsdurchführung	16
4. Aufarbeitung des Probenmaterials	18
5. Durchführung der Messung	19
6. Qualitative Auswertung des γ -Spektrogramms	21
D. Ergebnisse	34
I. Darstellung der Ergebnisse	34
II. Besprechung der Ergebnisse	38
1. Retention des ^{65}Zn in Organen und Gewebe von Hahn und Henne	38
2. Verteilung des ^{65}Zn im Körper von Hahn und Henne	39
3. Biologische Halbwertszeiten des ^{65}Zn in Organen und Gewebe von Hahn und Henne	45

E. Diskussion	96
F. Zusammenfassung	103
G. Summary	105
H. Literaturverzeichnis	107

A. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die Zunahme künstlich erzeugter Radioaktivität birgt die Gefahr einer Kontaminierung bestimmter Ökosysteme und Nahrungsketten in sich (53).

In der Literatur wird seit längerem darauf hingewiesen, daß auch ^{65}Zn zu den in dieser Hinsicht bedeutsamen Radionukliden gehört (14, 64). Zn stellt für Tier und Pflanze ein essentielles Element dar. Zn-Mangel verursacht eine Reihe von Mangelercheinungen. Zink ist Bestandteil wichtiger Fermente und fungiert dort als Aktivator bzw. Inhibitor. Außerdem spielt es offensichtlich auch im Nukleinsäurestoffwechsel eine Rolle.

Zur Abschätzung des Kontaminationsrisikos für Tier und Mensch mit ^{65}Zn lag es deshalb nahe, dessen Resorption, Verteilung und Ausscheidung im tierischen Organismus zu untersuchen. Für die Untersuchungen, dienten Hühner. Sie erhielten zu diesem Zweck innerhalb von 9 Tagen mehrmals ^{65}Zn oral verabreicht. Auf diese Weise sollten die Verhältnisse unter Fallout-Bedingungen simuliert werden. Geflügel war ausgewählt worden, da seine Schnellwüchsigkeit, sein intensiver Stoffwechsel und die leicht zu beherrschende Haltung und Fütterung es für derartige Untersuchungen besonders geeignet erschienen ließen. Diese Eigenschaften dürften wahrscheinlich auch in atomaren Krisensituationen rasch die Produktion von relativ gering kontaminierten Fleisch und Eiern ermöglichen. Dieser Gesichtspunkt erhält angesichts des ständig steigenden Konsums an Geflügel und Eiern noch erhöhte Bedeutung.

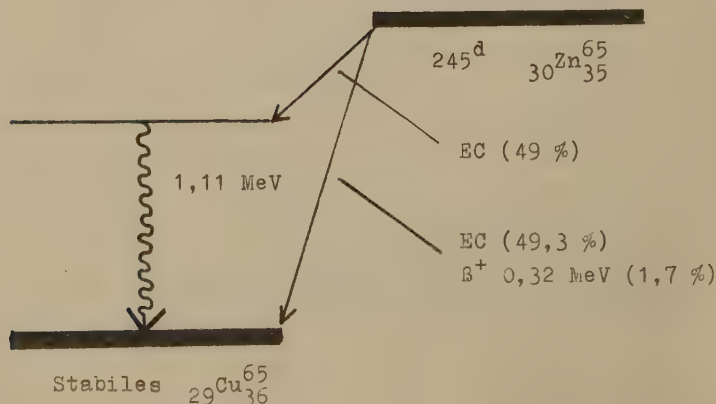
B. LITERATUR

I. Das Radionuklid ${}_{30}^{65}\text{Zn}_{35}$

${}^{65}\text{Zn}$ zählt zu den sogenannten induzierten Radionukliden. Es entsteht also nicht unmittelbar beim Kernzerfall, sondern durch Neutronenaktivierung von Zn oder durch Deuteronenbeschuss von Cu (81).

Es ist ein komplexer Strahler und zerfällt unter Aussendung von β - und γ -Strahlung zu ${}_{29}^{65}\text{Cu}_{36}$. Die E_{max} seiner emittierten β -Strahlung beträgt 0,32 MeV, die Energie seiner γ -Strahlung 1,11 MeV. Als physikalische Halbwertszeit werden 245 Tage angegeben (79, 33, 24). Abb. 1 gibt eine Übersicht des Zerfalls von ${}^{65}\text{Zn}$ zu ${}^{65}\text{Cu}$.

Abb. 1: Zerfallsschema von ${}^{65}\text{Zn}$ (11)



II. Der Biozyklus des ^{65}Zn

Im Hinblick auf die Kontaminationsmöglichkeiten für Tier und Mensch sei kurz auf den Biozyklus von ^{65}Zn eingegangen. Grundsätzlich bestehen für eine Weitergabe radioaktiver Nuklide in Biozyklen die aus Abb. 2 (S. 4) ersichtlichen Möglichkeiten (96).

^{65}Zn wurde in den 50er Jahren zum erstenmal in lebenden Organismen nachgewiesen (41). Nach den Testversuchen mit Wasserstoffbomben im Frühjahr 1954 in der Gegend der Marshallinseln entdeckten japanische Wissenschaftler in Fischen eine starke Anreicherung einiger durch Neutronenstrahlung induzierter Radionuklide, unter ihnen auch ^{65}Zn . KAWABATA (41) und WELANDER (100) ermittelten in Fischen ^{65}Zn -Aktivitäten, die bis zu 40 % der gemessenen Gesamtaktivität ausmachten. Bei auf dem Atomversuchsgelände von Nevada weidenden Rindern wurde ^{65}Zn zum erstenmal im November 1958 nachgewiesen (14).

Experimentelle Untersuchungen zeigten, daß sich durch Neutronenstrahlung entstandene Radionuklide, unter ihnen auch ^{65}Zn , in der Meeresfauna auf Grund ihres physikochemischen Verhaltens biologisch sehr stark anreichern können, obwohl sie im Meerwasser nur in geringer Konzentration enthalten sind. Sie tragen deshalb zu der Gesamtradioaktivität im Meer lebender Organismen wesentlich bei (3, 51, 21).

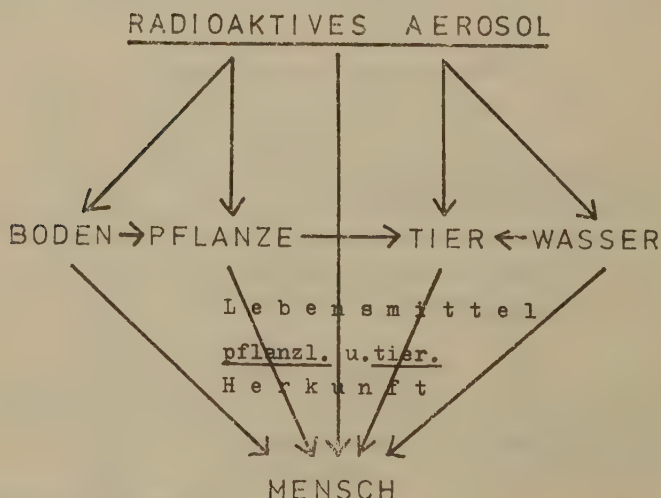
Landpflanzen (Klee) enthielten schon 1955 geringe Mengen ^{65}Zn (102). In den U. S. A. konnte es als Folge stratosphärischen Fallouts in Blattgemüse, Fleisch und Milch festgestellt werden (58).

Auch beim Menschen wurden, wenn auch gesundheitlich unbedenkliche, so doch erhöhte Konzentrationen dieses

Radionuklide gemessen. Nach Einstellung der Atom-
bombenversuche und Rückkehr der evakuierten Bevöl-
kerung auf die Marshallinseln wurde bei dieser ein
Anstieg der ^{65}Zn -Konzentration registriert (10).
Ähnliches konnte bei den am Hanford-Reaktor Beschäf-
tigten beobachtet werden (8).

Milch von Kühen, die in der Nähe des Columbia-Rivers
weideten, und der Verzehr von Fischen aus diesem Fluß
verursachten eine Erhöhung des ^{65}Zn -Gehaltes der dort
ansässigen Bevölkerung; der Columbia-River führt nämlich
Kühlwasser aus dem Hanford-Reaktor mit sich, das indu-
ziertes ^{65}Zn enthält (37).

Abb. 2: Biozyklus radioaktiver Nuklide (96)



III. Biochemie des Zinks

Wie andere Schwermetalle tritt Zn im lebenden Gewebe fast ausschließlich in Form organischer Komplexverbindungen auf. Als Liganden des Zn^{++} werden Schwefel, Stickstoff und Sauerstoff bevorzugt (9). Zn stellt in den Metalloenzymen Kohlensäureanhydratase, alkalische Phosphatase, Carboxypeptidase, den neutralen Proteasen, Aldolasen, sowie den Alkohol-, Laktat-, Glutamat- und Malatdehydrogenasen einen essentiellen Bestandteil dar (61).

Der Wirkungsmechanismus ist nur teilweise geklärt. Es sind Anlagerungen des Zn an NAD/NADP, an Sulfhydryl- und Aminogruppen von Proteinen und anderen Enzymsubstraten nachgewiesen worden. In den Dehydrogenasen besteht die biochemische Funktion des Zink nach DIXON und JEBB (15) in der Koppelung des Substrates an das aktive Zentrum bzw. im Zusammenhalt der Proteinuntereinheiten des Enzyms, wie es zum Beispiel beim Insulin der Fall ist (39). Das Zinkion ist bei einer Vielzahl von Enzymen spezifischer Aktivator. Es kann aber auch schon in physiologischer Konzentration als Enzyminhibitor agieren. WEITZEL et al. (97, 99) vermuten deshalb im Zellstoffwechsel eine regulative Rolle des Zn.

Enge Beziehungen scheinen auch zwischen Zink und der Wirksamkeit verschiedener Hormone, wie Insulin, Glucagon, ACTH und einigen Sexualhormonen zu bestehen (9).

Außerdem gibt es zahlreiche Hinweise für eine Bedeutung des Zn im Nukleinsäurestoffwechsel (98).

IV. Physiologie des Zinks

1. Allgemeines

Neuere experimentelle Untersuchungen haben ergeben, daß Zn in der biologischen Wertigkeit kaum hinter Fe zurücksteht. Trotz noch lückenhafter Beobachtungen sind einzelne klar umrissene Wirkungsbereiche dieses Elements erkennbar (81).

2. Resorption

Die Resorption des Zn findet vor allem im Dünndarm, insbesondere im Duodenum, statt. Über den Mechanismus der Resorption ist noch wenig bekannt (92). SAHAGIAN et al. (76, 77) konnten in in-vitro Studien an Ratten zeigen, daß die transmurale Passage von Metallen in zwei getrennten Schritten verläuft, nämlich

1. der Einnahme intra- und extrazellulärer Bindungsstellen in der Darmwand;
2. dem transmuralen Transport und der Abgabe in die umgebende Nährlösung.

Über die Höhe der intestinalen Zn-Resorption liegen widersprüchliche Angaben vor. Sie besagen jedoch im allgemeinen, daß Zn nur schlecht resorbiert wird (71, 94). Aus der Literatur für verschiedene Tierarten ersichtliche prozentuale Zn-Resorptionsraten sind nachfolgend zusammengestellt (83, 17):

Huhn:	9 - 16 %
Maus:	7 - 22 %
Ratte:	ca. 5 %
Schaf:	10 - 20 %
Rind:	3 - 10 %
Schwein:	13 - 53 %
Mensch:	30 - 90 %

widersprüchliche Angaben über die Höhe der Zn-Resorption im Darm sind vermutlich auf die Vielfalt exogener und endogener Faktoren, die seine Resorption beeinflussen, zurückzuführen, bzw. auf Bilanzuntersuchungen, welche die von den Darmanhangsdrüsen in den Darmtrakt ausgeschiedene Menge resorbierten Zinks nicht berücksichtigen (34, 36, 72, 75). An Hunden mit Pankreas- und Gallefisteln konnte die Herkunft des Zinks in den Faeces geklärt werden. Es wurde festgestellt, daß fast 50 % des während der Kontrollperiode ausgeschiedenen Radiozinks zuvor im Pankreassaft erschienen war (81).

Einer der biologischen Faktoren, welche die Resorptionsrate des Zn beeinflussen, ist das Alter. SUSO et al. (86) beobachteten in Versuchen an Hühnern eine Abnahme der Zn-Resorption mit zunehmendem Alter. Sie betrug bei 1 Tag alten Küken 34,6 %, bei 18 Wochen alten Tieren dagegen nur noch 15,4 % der oral verabreichten Dosis. Auch scheinen gewisse Rasseeigentümlichkeiten, wie bei Hühnern gezeigt werden konnte, die Höhe der Zn-Resorption zu beeinflussen (86). RICHMOND et al. (72) stellten zwischen der Tiergröße und der Zn-Resorptionsrate eine Abhängigkeit fest. Stoffwechselanomalien und Krankheiten wirken sich ebenfalls auf die Zn-Resorption aus. TURK und STEPHENS (91) untersuchten beim Geflügel zum Beispiel den Einfluß der Coccidiose auf die Resorption von Zn. Sie konnten allerdings nicht klären, ob letztlich nicht doch andere Faktoren für die beobachteten starken Schwankungen der Resorptionsraten verantwortlich sind, wie zum Beispiel ein verstärktes Wachstum nach der Rekonvaleszenz. Die Schwermetalle Cd und Cu hemmen die Resorption von Zn. Cd verstärkt bei Geflügel, Schwein und Kalb das Zn-Defizit (85, 70). Andererseits schwächt Zn die toxische Wirkung des Cd ab (62, 84). Als Ursache hierfür vermutet man eine kompetitive Einnahme der intra- und extrazellulären Bindungsstellen durch miteinander konkurrierende Metallionen (71).

Die Zusammensetzung des Eiweißfutters kann die Zn-Resorption ebenfalls nachteilig beeinflussen. O'DELL und SAVAGE (60) machen für die verminderte Zn-Resorption die Phytine verantwortlich, SCOTT und ZEIGLER (82) neben den Phytinen auch in Casein und Leberextrakten enthaltene Chelate.

3. Exkretion

Zn wird vom Organismus in der Hauptsache über die Faeces ausgeschieden (71, 20, 56). Ihr Zn-Gehalt besteht zum größten Teil aus nicht resorbiertem Zn, zu einem kleinen Teil auch aus vor allem vom Pankreas wieder in den Darm exkretiertem Zn. Versuche an Hunden ergaben, daß offenbar die exkretorischen Pankreasgänge einen physiologischen Ausscheidungsweg für dieses Element darstellen (81).

Zn wird auch über das Ei ausgeschieden. GROSSFELD (29) gibt für Eier einen durchschnittlichen Gehalt von 9,8 ppm Zn/Frischgewicht an. Beträchtliche Mengen davon befinden sich im Eigelb, Spuren im Eiklar. Die Schale ist praktisch frei von Zn (29). Den maximalen Gehalt nach intramuskulärer Injektion von Radiozink wiesen die 6 - 10 Tage p. inj. gelegten Eier auf (81). Nach intramuskulärer Injektion von Radiozink an Hennen wurden bei der Sektion in den unreifsten Oozyten die höchsten Zn-Aktivitäten angetroffen, was die Vermutung nahelegt, daß während der Passage des Eies durch den Eileiter kein wesentlicher Zink austausch mehr stattfindet (81).

Die biologische Halbwertszeit ($HWZ_{\text{biol.}}$) eines Stoffes kann als Maß für seine Ausscheidung aus dem Organismus bzw. seiner einzelnen Organe benutzt werden. SUSO et al (86) stellten bei Geflügel eine Abhängigkeit der $HWZ_{\text{biol.}}$ des ^{65}Zn vom Alter der Tiere fest. Sie betrug für ^{65}Zn bei 1 Tag alten Küken $17,3 \pm 7,8$ Tage und für 18 Wochen alte Tiere $43,1 \pm 8,1$ Tage. Von KAUFMANN (40)

ermittelte für verschiedene Organe von Hähnen und Hennen eine HWZ_{biol.} von 2 - 20 Tagen. LEIBETSEDER (50) stellte in parenchymatösen Organen von Schweinen für ⁶⁵Zn eine mittlere Verweildauer von ca. 30 Tagen fest. In den Speicherorganen betrug sie dagegen mehr als 1.000 Tage.

4. Zink im Stoffwechsel und sein Verteilungsmuster im Körper

Von BUDDENBROCK (6) analysierte in Organen vom Huhn die folgenden Zn-Konzentrationen:

Aderhaut:	338	ppm/Frischgewicht
Netzhaut:	298	"
Niere:	142	"
Ovar:	106	"
Leber:	103	"
Milz:	98	"
Gehirn:	78	"
Blut:	34	"
Muskulatur:	26	"

SUSO et al. (86) fanden im Blut von Hühnern 128 Stunden p. inj. das Maximum an Radiozink. Im Serum erreichte es eine Stunde p. inj. die höchste Konzentration. Sie fiel jedoch in den nächsten 3 Stunden rasch ab. Währenddessen nahm die ⁶⁵Zn-Konzentration in den Erythrozyten zu.

Nach Untersuchungen von WOLFF (101) ist 1/3 des Zn im Plasma locker an Albumin, der Rest fest an Globulin gebunden. Ein spezieller Transporteiweißkörper für Zn konnte noch nicht nachgewiesen werden (92). PERSIGHEL et al. (66) haben in Stoffwechseluntersuchungen am Menschen gezeigt, daß die Zinkkonzentration im Serum nicht als konstanter Wert betrachtet werden darf (66). VALLEE und GIBBSON (93) fanden beim Menschen 75 - 88 % des gesamten Blutzinks in den Erythrozyten lokalisiert. Das meiste Zink ist dabei an die Carboanhydrase gebunden.

Das Blutzink gelangt zunächst in die Parenchymorgane; von diesen wird es dann wieder via Blut an die Gewebe des "Large-Zinc-Pool" abgegeben, wozu Knochen, Muskulatur, Haut und Hautanhangsorgane zählen (27, 81). In Versuchen an Hunden wiesen von den Parenchymorganen während der ersten Stunden p. inj. Leber, Pankreas und Nieren die höchsten ^{65}Zn -Konzentrationen auf (81). Auch bei Hühnern konnten in der Leber ebenfalls hohe ^{65}Zn -Konzentrationen nachgewiesen werden. Sie zeigten während der ersten 16 Stunden p. inj. noch starke Schwankungen, stiegen dann aber stetig an und erreichten 64 Stunden p. inj. ihr Maximum, um danach schnell wieder abzufallen (86). Die Milz wies nur in den ersten 8 Stunden p. inj. eine ^{65}Zn -Zunahme auf. Danach kommt es jedoch rasch zu einem Rückgang der ^{65}Zn -Konzentration (86). Im Pankreas konnte für die Bildung, sowie die Abgabe von Insulin ein hoher Zn-Bedarf nachgewiesen werden (81).

Die schnelle Einlagerung von Zn und seine rasche Abgabe aus den oben genannten Geweben lassen an einen besonders hohen physiologischen Umsatz bzw. an eine besondere Stoffwechselfunktion von Zink in ihnen denken. Der hohe Carboanhydrasegehalt dieser Organe und ihre Fähigkeit, besonders der Leber, Metalle zu eliminieren, werden jedoch als Erklärung für den hohen physiologischen Umsatz allein als nicht ausreichend angesehen (81).

Die Zinkkonzentration im Muskelgewebe hängt von der Funktion der Muskeln ab. So wurde in Untersuchungen an Rindern, Schweinen sowie Hummern festgestellt, daß die rote Muskulatur 6 - 7 mal mehr Zn enthält als die weiße (5, 87, 7). Man macht für diese Unterschiede neben einer erhöhten Permeabilität der Zellmembran auch den höheren Enzymgehalt roter Muskeln ursächlich verantwortlich.

Im Fortpflanzungssystem enthält die Prostata das meiste Zink. Hypophysektomie und Kastration vermindern den Zinkgehalt. Dagegen erhöhen Choriogonadotropin und Testosteron die Zn-Aufnahmefähigkeit der accessorischen Geschlechtsorgane (30, 55).

V. Zinkintoxikation

Die Symptome einer Zinkvergiftung sind im allgemeinen wenig spezifisch. Es wird in Abhängigkeit von Menge und Dauer der oralen Giftaufnahme zwischen einer akuten und einer chronischen Form der Zinkintoxikation unterschieden. Beide sind durch gastrointestinale Symptome, wie Erbrechen, blutigen Durchfall, sowie durch Muskelschwäche und Krämpfe gekennzeichnet. Eine Einatmung von Zinkoxyd bewirkt plötzliche fieberhafte Allgemeinstörungen mit ausgeprägten Atembeschwerden.

Bei der Sektion nach oraler Aufnahme von Zn an Zinkvergiftung verendeter Tiere finden sich eine nur wenig deutliche herdförmige bis diffuse Gastritis, in schweren Fällen auch schlaffe Herzlähmung, fleckige Nierenblutungen und eine ausgeprägte Leberdegeneration mit Ikterus. Eingeatmetes Zinkoxyd verursacht ein ausgeprägtes interstitielles Lungenödem (74).

Die Zinkvergiftung war früher in der Umgebung von Zinkhütten auch bei Tieren häufig. Heute wird sie nur noch selten beobachtet. Ursachen für die Zn-Intoxikation können die Aufbewahrung oder der Transport von Futter bzw. das Tränken der Tiere in galvanisch verzinkten Behältern oder Röhren sein, die Aufnahme von Zinkfarben (ZnO , ZnCO_3), Zn-Verunreinigungen von Weiden oder Bächen durch Abrauch (vorw. ZnO) und Galmeiabwässer (ZnCO_3 , Zn_2SiO_4) aus Zinkhütten, versehentliche Beimengung von Zinkoxyd anstelle von Magnesiumoxyd zu Kraftfuttermitteln, sowie Einatmen ZnO -haltigen Rauches durch Tiere bei Schweißarbeiten im Stall (74).

Experimentelle Untersuchungen an Rind, Schwein und Ratte haben ergeben, daß zur Auslösung einer Zink-intoxikation relativ hohe Dosen Zn erforderlich sind (26). Hühner sind relativ unempfindlich. Als Dosis letalis geben KLUSSENDORF (46), ROBERSON (63) und TAHARA (88) für das erwachsene Huhn 2.000 ppm an, für ca. 4 Wochen alte Küken 3.000 ppm Zn. 1.000 - 1.500 ppm Zn werden noch komplikationslos toleriert (18, 54).

Empfindlicher reagieren Säugetiere. Bei Läufer-schweinen verursachte die Aufnahme einer Zinkkonzentration von 0,01 % im Futter Störungen (4). 50 - 500 ppm Zn erweisen sich bei Verfütterung in Magermilch für Schweine als letal (26). Ratten tolerieren bis zu 5.000 ppm Zn (22).

VI. Zinkmangel

Typisch für Zinkmangel bei Tieren sind parakeratotische Veränderungen der Haut. Sie äußern sich beim erwachsenen Huhn in Form einer Dermatitis und einer Degeneration der Haarfollikel mit anschließender Mauser (69). Beim Küken bedingt Zn-Mangel eine Verkürzung des Femur, sowie eine Verwachsung von Tarsometatarsal- und Sprunggelenk (57). Sperma- und Eiproduktion vermindern sich. Die Schlupfrate ist herabgesetzt. Dennoch geschlüpfte Küken zeigen Retardierungserscheinungen (2, 44, 52, 90).

Als Ursache für den Zn-Mangel bei Geflügel werden vor allem ungenügende Trinkwassermengen, zinkarme Futtermittel oder die Zn-Resorption hemmende Zusätze im Futter verantwortlich gemacht (13). Zn-Mangelercheinungen sollen durch Getreidemastfutter, Fischmehl, Sojaschrot und sonstige Eiweißkonzentrate, sowie stark Ca-haltige Mineralstoffzusätze, wie zum Beispiel Schlemmkreide, provoziert werden (12, 43, 78, 57, 28).

Durch Zn-Mangel induzierte parakeratotische Erscheinungen sind beim Rind an Haarausfall und starker Verkrustung bzw. Rhagadenbildung der Haut erkennbar. Sie konzentrieren sich vor allem auf Schwanz- und Schenkelinnenfläche. Milchkühe zeigen zudem eine verminderte Fruchtbarkeit und ihre Milchleistung ist beeinträchtigt (49).

Beim Schwein konnten TUCKER und SALMON (89) die Parakeratose als klassisches Mangelsymptom nachweisen. Bei ihm kommt es vor allem an der Haut der hinteren Schenkelpartien zu Seborrhoe, Verkrustung und Rhagadenbildung. Auch Funktionsausfälle im Zentralnervensystem, sowie Pigmentmangel und Fermentdysfunktion sind als Folgen von Zn-Mangel beim Schwein beschrieben worden (50).

Schweine benötigen mehr Zink als Hühner und Rinder. Rinderfutter soll bei normalem Ca-Gehalt 45 ppm Zn enthalten (32). Beim erwachsenen Huhn wird ein Futterzinkgehalt von 50 ppm, für Küken von 70 ppm als ausreichend zur Deckung ihres Zinkbedarfs angesehen (35). Im Schweinefutter soll er 50 ppm betragen (43, 50).

VII. ^{65}Zn in Lebensmitteln tierischer Herkunft

Fleisch zählt zu den wichtigsten Lebensmitteln tierischer Herkunft. Auf seinen Verzehr kann kaum verzichtet werden, weshalb unter Lebensmitteln tierischer Herkunft Fleisch vorrangig auf seinen Gehalt an künstlichen Radionukliden untersucht wurde. Außer ^{137}Cs und ^{55}Fe konnte in Fleisch wiederholt ^{65}Zn ermittelt werden (48).

In der Muskulatur und der Leber von Rindern aus Nevada konnten 1958 30 - 50 pCi ^{65}Zn /kg Trockensubstanz festgestellt werden, in Fleisch von Rindern aus Yakima im Staate Washington 9 pCi/kg Trockensubstanz (14, 65).

Zu gleichen Teilen aus Hühner-, Lamm-, Rind- und Schweinefleisch bestehende Proben aus Ohio enthielten 17 pCi ^{65}Zn /kg Frischgewicht (58).

Fleisch von Schweinen, die aus 30 Meilen flußabwärts vom Hanford-Reaktor am Columbia-River gelegenen Farmen stammten, enthielt 350 pCi ^{65}Zn /kg Frischgewicht. In der Leber dieser Tiere konnten bis zu 11.500 pCi ^{65}Zn /kg Frischgewicht gemessen werden (64, 65).

Rinder, die auf dem Atomversuchsgelände von Nevada während der Einstellung der Versuche geweidet hatten, wiesen im Fleisch ^{65}Zn -Aktivitäten zwischen 77 und 153 pCi/kg Frischgewicht auf (14). 1959 wurden im Fleisch 1 - 2 Jahre nach Durchführung von Atombombenversuchen auf diesem Gelände weidender Rinder 54 - 236 pCi ^{65}Zn /kg Frischgewicht festgestellt. Dies entsprach im Schnitt 45 % seiner ^{137}Cs -Kontamination (38).

C. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

1. Allgemeines

Es sollten

1. die Aufnahme, Verteilung, Verweildauer und Ausscheidung von mehrmals oral verabreichtem ^{65}Zn über einen längeren Zeitraum und
 2. eventuelle geschlechtsspezifische Unterschiede zwischen Hahn und Henne
- festgestellt werden.

^{65}Zn eignet sich wegen seiner relativ langen physikalischen Halbwertszeit von 245 Tagen gut für derartige Untersuchungen. Außerdem stellt es als Bestandteil des radioaktiven Fallout für Tier und Mensch eine potentielle Gefahr da. Es kann sich in Lebensmitteln pflanzlicher und tierischer Herkunft in bedeutender Konzentration anreichern.

^{65}Zn stand in Form einer Standardlösung der Physikalisch-Technischen-Bundesanstalt-Braunschweig zur Verfügung. Die Meßgenauigkeit der ^{65}Zn -Lösung betrug $\pm 2\%$. Die 0,1 n salzsaure Trägerlösung enthielt 32 mg/l ZnCl_2 .

2. Versuchstiere

Als Versuchstiere standen für die Untersuchungen 46 Wochen alte, weiße Hyline-Leghorn-Hybriden zur Verfügung. Sie waren als 14 Tage alte Küken übernommen und in institutseigenen Stallungen aufgezogen worden. Ihre Haltung erfolgte in mit Drahtrosten und Kotsammelblechen ausgestatteten Versuchskäfigen. In einem Käfig waren maximal 4 Hähne aufgestellt; die Hennen wurden einzeln gehalten. In den Vorversuchen wurden zur Prüfung technischer Fragen des Versuchsablaufes und zur Feststellung der ^{65}Zn -Dosierung, der Aufbereitung der Proben und der Lösung meßtechnischer Probleme 22 Hähne verwendet, 2 davon dienten als Kontrolltiere.

Der Hauptversuch wurde mit 25 Hähnen und 25 Hennen, davon 3 als Kontrollen, durchgeführt. Die Kontrolltiere wurden zu verschiedenen Zeitpunkten während des Versuchs geschlachtet, um einen repräsentativen O-Wert zu erhalten. Vor und während des Versuchs erhielten die Tiere ein Kükenalleinfutter, das den Anforderungen der DLG-Norm entsprach und nach Angaben des Herstellers folgende Zusammensetzung aufwies:

30	%	Weizenschrot
24	%	Maisschrot
18	%	Sojaschrot, extr.
10	%	Weizenkleie
6	%	Luzerne; Grünmehl
2	%	Fischmehl
2	%	Melasse
1,5	%	Mineralstoffmischung
2	%	Fleischknochenmehl
0,5	%	Molkepulver
2	%	Fett: Rind : Schwein wie 1 : 1
0,5	%	Vitaminvormischung für Geflügel
0,5	%	Kohlensaurer Kalk
0,025	%	Antibiotische Vormischung

Seine wertbestimmende Anteile werden mit 18 % Rohprotein, 6 % Rohfaser, 8 % Asche, davon 1 % Ca und 0,7 % P, angegeben. Das Futter wurde vor seiner Verfütterung auf ^{65}Zn kontrolliert. Es erwies sich praktisch als frei von ^{65}Zn . Sein Gehalt an stabilem Zink betrug, atomabsorptionsspektrometrisch gemessen, 48,9 ppm.

3. Versuchsdurchführung

Die Beschreibung der Versuchsdurchführung beschränkt sich auf den Hauptversuch, da die Vorversuche nur orientierenden Charakter besaßen.

Für den Hauptversuch standen 25 Hähne und 25 Hennen zur Verfügung. Jeweils 3 Tiere dienten als Kontrollen. Die Tiere wurden mit Flügelmarken gekennzeichnet und

zu Versuchsbeginn vor Verabreichung der ersten Dosis ^{65}Zn gewogen. Das Absetzen des Futters erfolgte am Vorabend der ^{65}Zn -Applikation. Die Tiere konnten bis zur Schlachtung ad libitum Wasser aufnehmen. SUSO et al. (86) hatten festgestellt, daß eine orale ^{65}Zn -Applikation in den Kropf ähnliche Resultate ergibt wie seine Zumischung zum Futter. Die orale Applikation stellt also eine einfache Methode dar, eine mehrmalige Aufnahme von ^{65}Zn mit dem Futter zu simulieren. Deshalb erhielten die Tiere jeweils 12 Stunden nach Futterentzug mittels einer Auslaufpipette die ^{65}Zn -Lösung in den Kropf pipettiert; anschließend wurde mit reichlich Wasser aus der Spritzflasche nachgespült und den Tieren freier Zugang zum Futter gewährt. Die Dosierung betrug nach entsprechenden Versuchen bei Hähnen und Hennen $0,08 \mu\text{Ci/kg}$ Lebendgewicht, wobei für die Dosierung das Gewicht der Tiere zu Versuchsbeginn zugrunde gelegt wurde. Die Lebendgewichte der Tiere und die an sie verabreichten ^{65}Zn -Aktivitäten sind für die Tiere des Hauptversuchs im Detail aus Tabelle 1 (S. 25) ersichtlich. Die Hennen wogen zu Versuchsbeginn zwischen 1,7 und 2,8 kg, die im Durchschnitt etwas schwereren Hähne zwischen 2,5 und 3,2 kg. Die pro Tier verabreichten ^{65}Zn -Aktivitäten bewegten sich bei Hennen zwischen 0,32 und $1,12 \mu\text{Ci}$ bzw. 0,448 und $1,28 \mu\text{Ci}$ bei Hähnen. Über die ^{65}Zn -Applikations- und Tötungszeitpunkte gibt für die einzelnen Tiere Tabelle 2 (S. 26) Auskunft. Tabelle 2 ist zu entnehmen, daß die am 3. Tag getöteten Tiere 2 Dosen ^{65}Zn , die am 5. Tag 3, am 7. Tag 4 und die ab 9. Tag geschlachteten Hähne und Hennen insgesamt 5 Dosen ^{65}Zn jeweils im Abstand von 48 Stunden erhalten hatten. Die erste Dosis ^{65}Zn wurde den Tieren am 1. Versuchstag verabreicht; an diesem Tag wurden keine Tiere geschlachtet. Weitere Schlachttermine waren außer dem 3., 5., 7. und 9. Tag der 10., 11., 14., 17., 25., 42. und 73. Versuchstag.

Ein Zeitraum von 12 Stunden zwischen Applikation und Tötung reicht, wie Untersuchungen zeigen, für eine maximal mögliche Resorption des verabreichten ^{65}Zn aus (63).

4. Aufarbeitung des Probenmaterials

Nach Tötung und Entbluten wurden die Tiere gebrüht, gerupft und in ihre Organe bzw. Gewebe zerlegt. Organe und Gewebeproben wurden in frischem Zustand gewogen. Die Frischgewichte sind den Tabellen 3 - 8 (S. 27 - 32) zu entnehmen. Die weitere Aufarbeitung der Organe orientierte sich primär an ihrer Größe und am zu erwartenden ^{65}Zn -Gehalt. Im Nativzustand wurden nach sorgfältiger Homogenisierung Pankreas, Nieren und Milz gemessen.

Organe, wie Herz und Lunge, mußten im getrockneten Zustand gemessen werden, weil sonst eine repräsentative Messung unter optimalen Meßbedingungen nicht in jedem Fall gesichert erschien. Ein solches Vorgehen ist bei der relativ energiereichen γ -Strahlung des ^{65}Zn möglich. U. a. konnten auch SUSO et al. (86) zeigen, daß in frischem oder getrocknetem Untersuchungsmaterial durch Selbstabsorption und Streuung der emittierten γ -Strahlung keine nennenswerten Absorptionsverluste entstehen. Das Trocknen im getrockneten Zustand zu messender Proben erfolgte im Trockenschrank bis zum Eintritt der Gewichtskonstanz bei ca. 105°C .

Die voluminöseren Gewebe Knochen, Haut und Muskulatur wurden nach Zerkleinerung und Vortrocknung im Trockenschrank bei 105°C im Muffelofen bei einer Endtemperatur von 450°C schonend in Quarzschalen verascht (81). Bei Federn genügte Reinigen in mit einem Detergens versetztem Wasser. Sie wurden dann mit Acq. dest gespült und getrocknet.

Einen Überblick über die Art der Probenaufbereitung vermittelt Tabelle 9 (S. 33).

5. Durchführung der Messung

^{65}Zn ist ein komplexes β - und γ -Strahlen emittierendes Nuklid. Die Messung kann deshalb prinzipiell über seine β - oder γ -Strahlung erfolgen. Die Erfassung über seine β -Emission setzt jedoch i. d. R. seine chemische Abtrennung nach erfolgter Veraschung des Untersuchungsmaterials voraus. Diese zeitraubende mit einer Reihe von Fehlern behaftete Möglichkeit entfällt bei Messung der γ -Emission. In den eigenen Untersuchungen wurde deshalb ^{65}Zn γ -spektrometrisch bestimmt.

Die γ -Spektrometrie beruht auf einer Wechselwirkung von γ -Quanten mit einem lichtempfindlichen Detektor, zum Beispiel einem NaJ-Kristall. Diese Wechselwirkung kann als Photoeffekt, Comptoneffekt oder bei γ -Quanten mit einer Energie über 1,02 MeV auch als Paarbildung erfolgen (11, 19). Ihre Registrierung mittels eines Vielkanalimpulshöhenanalysators eröffnet die Möglichkeit, γ -Quanten unterschiedlicher Energie zu sortieren, zu identifizieren und zu zählen (45). Die qualitative Bestimmung eines γ -Strahlers erfolgt anhand der nuklid-spezifischen Energie seiner γ -Quanten, die quantitative Messung der Aktivität der Meßprobe durch Vergleich mit einer Probe bekannter Aktivität.

Zur Messung des ^{65}Zn wird die 1,11 MeV-Energie seiner γ -Strahlung benützt. Sie wird kaum beeinträchtigt, da im Untersuchungsmaterial andere Radionuklide mit ähnlichen Energielinien, wie ^{65}Zn , nicht vorhanden waren, und die Comptonstrahlung energiereicherer Radionuklide, wie zum Beispiel des ^{40}K , das zu 0,012 % Bestandteil des Kalium ist, auf der Meßlinie des ^{65}Zn in einer Anhebung des Untergrundes kaum störend in Erscheinung tritt. Abb. 3 (S. 20) zeigt das γ -Spektrum des ^{65}Zn .

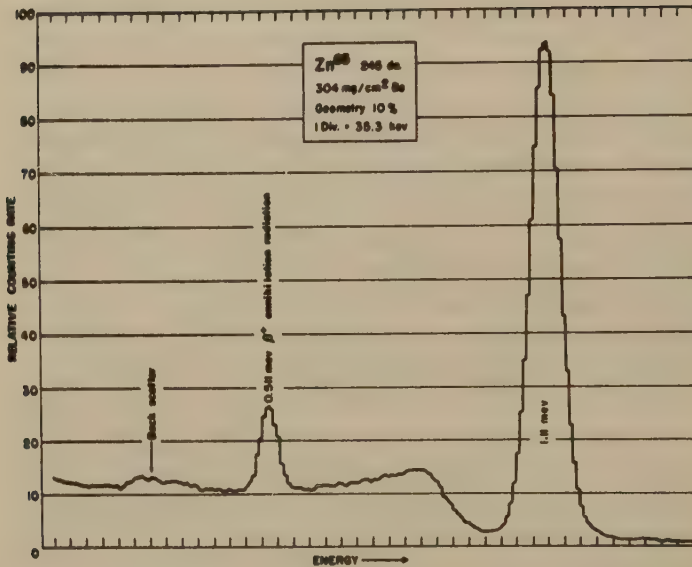


Abb. 3: Gammasktrum des ^{65}Zn (11)

Für die Messung stand ein γ -Spektrometer, bestehend aus einem Scipp-400 Kanal Impulshöhenanalysator der Fa. Victoreen und einem 2 x 2 NaJ-Bohrlochkristall mit einer kombinierten Blei-Kupfer-Abschirmung von 130 mm Wandstärke, zur Verfügung. Die gespeicherten Impulse wurden auf einem Oszillographen sichtbar gemacht und mittels Teletype-Schreibmaschine digital ausgedruckt.

Die Proben wurden in dicht verschließbaren Poly-Äthylenröhrchen von 23 mm Durchmesser und 56 mm Höhe in einem 4 cm tiefen und 2,5 cm weiten Bohrloch des

NaJ-Kristalls mit einem Auflösungsvermögen von $r = 9,6 \%$ auf der 0,662 MeV-Energielinie des metastabilen ^{137}Ba gemessen. Die Füllhöhe des Probenmaterials in den Röhrchen betrug 3 cm. Sie ermöglichte bei konstanter "Geometrie" optimale Meßbedingungen (16), wobei gleiche Einwaagen bei Eich- und Probepräparaten annähernd gleiche Dichteverhältnisse garantierten. Die Messung der Federn erfolgte in mit Klebefolien verschlossenen Ringschalen aus Polyäthylen mit einem Fassungsvermögen von 1,5 l. Als Szintillationszähler fand hier ein in einer Blei-Quecksilber-Kammer platzierter 3×3 NaJ (TI)-Vollkristall mit einem Auflösungsvermögen von $6,3 \%$ auf der 0,662 MeV-Energielinie des metastabilen ^{137}Ba Verwendung. Die Wandstärke der Blei-Quecksilber-Kammer maß 90 mm.

6. Qualitative Auswertung des γ -Spektrogramms

Die Fläche des Photopeaks der 1,11 MeV-Energielinie stellt ein Maß für die Intensität der γ -Strahlung dar. Sie ist ihr direkt proportional. Es gilt die Gleichung:

$$I = k \times F$$

Hierbei bedeutet I die Intensität der γ -Strahlung, F die Peakfläche und k einen Proportionalitätsfaktor, dessen Größe von der Probe, dem Nachweismechanismus und der Apparatur abhängt (16). Die Nettoaktivität der zu untersuchenden Organe wurde durch Vergleichsmessungen bestimmt. Bei Verwendung der von GUSTAFSON et al. (31) bzw. KREUZER (47) beschriebenen Methode des inneren Standards kann der Proportionalitätsfaktor unberücksichtigt bleiben. Die Benutzung eines internen Standards hat zudem den Vorteil, daß für die Messung nur schwer abzuschätzende Faktoren, wie Geometrieverhältnisse, Absorption durch Probenmaterial etc. in Probe und Standard einander annähernd entsprechen und daher unberücksichtigt bleiben können (31, 42). Der Zusatz zum Eichpräparat ist allerdings so zu bemessen, daß die Aktivitäten von

Eich- und Meßprobe größenordnungsmäßig nicht allzu-
sehr differieren. Der Vergleich der Peakfläche der
Meßprobe mit der des Standards (Eichprobe) ermöglicht
die quantitative Bestimmung des fraglichen Radionuklids.
Zur Bestimmung der ^{65}Zn -Aktivität wurden jeweils die
10 energiereichsten Kanäle des Photopeaks herange-
zogen. In ihnen ist das Verhältnis von ^{65}Zn -Impulsen
zu Background-Impulsen (Comptonstrahlung energie-
reicher Radionuklide oder gleichenenergetischer Photonen
anderer Radionuklide) am günstigsten. Die Lage
des Peakmaximums entspricht dabei der Peakbreite in
halber Höhe (Halbwertsbreite). Liegt nämlich der
Photopeak isoliert auf der Basislinie, wie es bei den
Versuchen approximativ der Fall war, so ist seine
Fläche:

$$F = 1,07 \times W_{1/2} \times h;$$

wobei $W_{1/2}$ die Halbwertsbreite und h die Höhe des
Peakmaximums symbolisiert. Der Faktor 1,07 ergibt sich
aus der Normalverteilung (16, 67, 95).

Zur Messung des ^{65}Zn standen 200 von 400 Kanälen des
Vielkanalimpulshöhenanalysators zur Verfügung. Die
Einstellung des γ -Spektrometers erfolgte so, daß der
Photopeak des ^{40}K bei 1,46 MeV noch vollständig ein-
gespeichert wurde. Die Kanalbreite betrug 7,3 KeV.
In einem idealen γ -Spektrogramm stellen sich Photo-
effekt und Paarbildung als Linien dar, die Compton-
strahlung als ein Kontinuum bis zu einer bestimmten
Maximalenergie unterhalb der Photolinien. Durch den
statistischen Charakter des Nachweismechanismus
erhält das idealisierte Spektrum eine Streuverteilung
aufgeprägt, wodurch Linien als Peaks erscheinen, die
durch die Gauß'sche Funktion der Normalverteilung
hinreichend approximiert werden (11, 24, 16).

Zur Vermessung des Untergrunds der 1,11 MeV-Energie-
linie des ^{65}Zn wurden für alle untersuchten Organe
und Gewebe jeweils 3 "O-Präparate" aus den entsprechenden

Organen und Geweben der Kontrollhähne und -hennen hergestellt. Nach Vermessen des Untergrunds wurde den Präparaten zur Eichung ^{65}Zn -Lösung bekannter Aktivität in homogener Verteilung zugesetzt. Der Zusatz an ^{65}Zn für die Herstellung des jeweiligen Eichstandards war so bemessen, daß er dem Mittel der in der jeweiligen Probe zu erwartenden ^{65}Zn -Aktivität entsprach. Ihre Abschätzung bereitete nach vorheriger Bestimmung des Wirkungsgrades der Meßanordnung für die ^{65}Zn -Bestimmung auf der 1,11 MeV-Energielinie keine Schwierigkeit. Für die Organe wurden, um die in ein und demselben Organ zu verschiedenen Zeitpunkten p. applic. geschlachteter Tiere recht unterschiedlichen Aktivitäten besser erfassen zu können, jeweils 2 Präparate für die Eichung angefertigt. Der ganzen Spannweite konnte damit insofern Rechnung getragen werden, als das eine Präparat die für jedes Organ minimale, das zweite hingegen die maximale Menge ^{65}Zn zugesetzt erhielt. Aus den Differenzen der Impulsraten von Eichpräparat, Meßprobe und Nulleffekt errechnet sich die Aktivität der Meßprobe.

Der Vergleich von gemessener Impulsrate mit der wirklichen Zählrate ermöglicht die Bestimmung des Wirkungsgrades der Meßanordnung. Er gibt an, wieviel der emittierten Zerfälle einer Probe von der Meßanordnung erfaßt werden. Er betrug für die ^{65}Zn -Bestimmung 1,28 %. Als untere Nachweisgrenze für die kleinste noch meßbare Aktivität einer Probe wurde diejenige Aktivität definiert, deren Zählrate um die 3-fache Standardabweichung höher lag als die Impulsrate des entsprechenden Präparats für die Untergrundvermessung (0-Effekt). Die Nettoaktivität des Meßpräparates war somit mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P = 1\%$ vom Nulleffekt verschieden.

Der Meßfehler wurde durch bis zu 10maliges Messen der gleichen Probe bestimmt. Er belief sich auf 6,2 % ($P = 5 \%$). Zur Ermittlung der Reproduzierbarkeit wurden, soweit das bei der Probenmenge möglich war, 4 - 5fache Ansätze der gleichen Probe gemessen. Die Reproduzierbarkeit ist ein Maß für den Gesamtfehler (methodischer Fehler plus Meßfehler). Nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz kann aus dem Gesamtfehler und dem Meßfehler auf den methodischen Fehler geschlossen werden. Der Gesamtfehler der ^{65}Zn -Messung belief sich auf 8 %, der Meßfehler auf maximal 6,2 %; daraus errechnet sich ein methodischer Fehler von ca. 5 % ($P = 5 \%$) (68).

T A B E L L E 1

Körpergewichte der Versuchstiere zu Versuchsbeginn
und die pro Tier verabreichte Gesamtdosis ^{65}Zn

Nummern der Tiere		Gewicht (kg)		Verabr. Gesamtdosis ^{65}Zn (μCi)	
Hahn	Henne	Hahn	Henne	Hahn	Henne
101	221	3,1	2,3	0,496	0,368
102	222	2,8	2,0	0,448	0,320
103	201	2,7	1,9	0,648	0,456
104	202	2,7	2,0	0,648	0,480
105	203	2,7	2,7	0,864	0,864
106	204	2,8	2,0	0,896	0,640
107	205	2,8	2,2	1,120	0,880
108	206	2,5	1,7	1,000	0,680
109	207	3,0	2,0	1,200	0,800
110	208	3,2	2,0	1,280	0,800
111	209	2,6	2,1	1,040	0,840
112	210	2,9	2,0	1,160	0,800
113	211	2,6	2,2	1,040	0,880
114	212	2,7	1,9	1,080	0,760
115	213	3,0	2,4	1,200	0,960
116	214	2,6	2,3	1,040	0,920
117	215	2,6	1,7	1,040	0,680
118	216	2,6	2,6	1,040	1,040
119	217	2,4	2,8	0,960	1,120
120	218	2,5	1,7	1,000	0,680
121	219	2,5	2,0	1,000	0,800
122	220	2,6	1,9	1,040	0,760

T A B E L L E 2

Übersicht über den Zeitpunkt der Applikation von ^{65}Zn und der Tötung der Versuchstiere

Versuchs- tag	^{65}Zn -Applikation		Anzahl der getöteten Tiere			
	Hahn	Henne	Hahn (Nr.)		Henne (Nr.)	
1.	+	+				
3.	+	+	2	(101) (102)	2	(221) (222)
5.	+	+	2	(103) (104)	2	(201) (202)
7.	+	+	2	(105) (106)	2	(203) (204)
9.	+	+	2	(107) (108)	2	(205) (206)
10.			2 + K	(109) (110)	2 + K	(207) (208)
11.			2	(111) (112)	2	(209) (210)
14.			2	(113) (114)	2	(211) (212)
17.			2	(115) (116)	2	(213) (214)
25.			2	(117) (118)	2	(215) (216)
42.			2 + K	(119) (120)	2 + K	(217) (218)
73.			2 + K	(121) (122)	2 + K	(219) (220)

K = Kontrollhahn bzw. -henne

+ = verabreichte ^{65}Zn -Dosis

T A B E L L E 3

H ä h n e :

Frishgewichte (g) der Organe

Nummern der Tiere	Magen	Darm	Blut	Leber	Herz	Lunge
101	32	37	79	40	16	22
102	42	23	87	35	15	14
103	32	33	70	30	15	17
104	37	36	44	35	17	18
105	35	32	76	32	16	14
106	40	29	64	34	19	17
107	35	35	47	42	16	18
108	27	35	75	36	13	17
109	30	33	56	37	18	25
110	41	45	45	41	20	18
111	33	26	55	34	15	20
112	40	30	13	58	19	27
113	33	35	66	28	13	15
114	26	19	32	26	16	17
115	39	36	72	37	14	16
116	32	21	58	34	21	27
117	30	31	65	33	17	14
118	36	28	64	36	15	13
119	23	32	41	26	12	10
120	29	34	67	28	13	22
121	39	48	43	39	15	17
122	35	40	44	56	11	15

T A B E L L E 4

H ä h n e :

Frischgewichte (g) der Organe

Nummern Milz Nieren Pankreas Hoden
der Tiere

101	3	12	4	45
102	4		4	41
103	2	11	3	32
104	3	11	4	47
105	3	10	4	27
106	3	11	4	43
107	4	12	4	41
108	3	9	4	46
109	4	10	4	47
110	6	12	3	44
111	3	12	3	60
112	5	20	4	10
113	3	10	4	36
114	2	11	3	35
115	3	8	5	32
116	3	10	4	46
117	4	9	4	25
118	4	12	3	33
119	2	8	3	28
120	2	11	4	47
121	3	11	5	29
122	5	17	4	30

T A B E L L E 5

H ä h n e :

Frischgewichte (g) der Gewebe

Nummern der Tiere	Kopf- anhang	Haut	Rumpf- muskulatur	Extremitäten- muskulatur	Knochen
101	119	232	220	265	254
102	101	232	282	246	211
103	129	209	219	234	191
104	126	187	201	240	195
105	149	177	223	241	190
106	134	207	289	210	204
107	109	169	244	231	229
108	161	164	248	209	177
109	147	147	263	244	216
110	130	219	236	280	203
111	135	155	177	267	186
112	105	224	301	238	226
113	109	158	248	236	174
114	129	197	213	208	176
115	115	172	224	249	162
116					
117	130	137	303	415	175
118	135	172	270	228	182
119	122	152	174	246	172
120	134	128	202	216	198
121	144	143	239	183	148
122	104	160	193	218	195

T A B E L L E 6

H e n n e n :

Frischgewichte (g) der Organe

Nummern der Tiere	Magen	Darm	Blut	Leber	Herz	Lunge
221	27	32	28	35	9	10
222	37	36	37	32	10	9
201	34	34	34	28	9	7
202	27	30	30	37	9	8
203	32	36	29	57	12	9
204	30	22	36	22	8	9
205	24	30	32	33	10	6
206	22	27	22	27	7	7
207	28	28	40	40	9	12
208	33	29	40	35	8	10
209	27	30	25	41	11	10
210	28	37	34	34	8	9
211	33	28	48	39	11	8
212	29	26	41	35	8	7
213	27	30	51	47	9	9
214	34	38	24	46	10	11
215	32	40	43	39	6	9
216	36	33	50	58	8	11
217	36	29	38	51	7	11
218	27	36	37	26	7	7
219	30	28	36	44	9	7
220	30	32	41	37	9	13

T A B E L L E 7

H e n n e n :

Frischgewichte (g) der Organe

Nummern der Tiere	Milz	Nieren	Pankreas	Geschlechts- organe
221	1	13	4	
222	1	12	4	
201	1	12	3	
202	1	10	2	
203	2	9	3	49
204	2	9	3	52
205	2	13	3	58
206	2	12	3	40
207	2	12	2	39
208	2	11	4	55
209	1	17	4	54
210	1	12	4	55
211	2	14	3	43
212	1	11	4	65
213	2	15	4	65
214	2	11	5	55
215	2	15	3	38
216	2	8	4	69
217	2	17	4	66
218	1	11	2	56
219	1	12	3	55
220	2	13	4	59

T A B E L L E 8

H e n n e n :

Frischgewicht (g) der Gewebe

Nummern der Tiere	Kopf- enhang	Haut	Rumpf- muskulatur	Extremitäten- muskulatur	Knochen
221	22	191	167	265	124
222	17	166	298	241	91
201	10	145	289	188	87
202	11	140	261	226	89
203	32	176	294	209	102
204	17	119	238	208	89
205	16	160	336	211	109
206	13	100	238	203	75
207	19	183	299	190	107
208	24	168	258	191	95
209	14	157	246	235	94
210	16	35	323	215	94
211	12	49	309	261	126
212	18	151	235	173	89
213	21	106	256	280	112
214	14	94	304	212	119
215	8	122	250	192	74
216	22	165	405	271	109
217	34	185	432	259	94
218	18	166	192	219	78
219	21	100	334	239	105
220	28	146	323	262	110

T A B E L L E 9

Die Art der Probenaufbereitung

Proben	nativ	getrocknet	verascht
Pankreas	+		
Milz	+		
Nieren	+		
Federn	+		
Magen		+	
Darm		+	
Blut		+	
Leber		+	
Herz		+	
Lunge		+	
Geschlechtsorgane		+	
Kopfanhang		+	
Haut			+
Rumpfmuskulatur			+
Extremitätenmuskulatur			+
Knochen			+

D. ERGEBNISSE

I. Darstellung der Ergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse sind in den Tabellen 10 - 30 (S. 49 - 69) zusammen- und in den Abbildungen 4 - 29 (S. 70 - 95) graphisch dargestellt.

Tab. 10 (S. 49) gibt bei Hähnen, Tab. 11 (S. 50) bei Hennen die zum Zeitpunkt der Tötung resorbierten Mengen ^{65}Zn numerisch in pCi und in Prozent zur gesamten verabreichten Dosis ^{65}Zn an. Die prozentualen Resorptionsraten sind für Hähne und Hennen in Abb. 4 (S. 70) graphisch dargestellt.

Die Tabellen 12 - 17 (S. 51 - 56) informieren über die ^{65}Zn -Aktivitäten der untersuchten Organe und Gewebe, die Tabellen 12 - 14 (S. 51 - 53) für Hähne und die Tabellen 15 - 17 (S. 54 - 56) für Hennen. Die Aktivitätsangaben beziehen sich dabei jeweils auf 1 g Frischgewicht. Im Detail geben über die ^{65}Zn -Aktivitäten in den untersuchten Organen und Geweben Auskunft

bei H ä h n e n :

Tab. 12 für Magen, Darm, Blut, Leber, Herz, Lunge (S. 51),

Tab. 13 für Milz, Nieren, Pankreas, Geschlechtsorgane (Hoden) (S. 52) und

Tab. 14 für Kopfanhang, Haut, Rumpf- und Extremitätenmuskulatur, Knochen und Federn (S. 53),

bei H e n n e n :

Tab. 15 für Magen, Darm, Blut, Leber, Herz, Lunge (S. 54),

Tab. 16 für Milz, Nieren, Pankreas, Geschlechtsorgane (S. 55) und

Tab. 17 für Kopfanhang, Haut, Rumpf- und Extremitätenmuskulatur, Knochen und Federn (S. 56).

In den Tabellen 18 - 21 (S. 57 - 60) sind die Ergebnisse der Regressionsanalyse zur Prüfung der Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivität in Organen und Geweben von der Versuchs-

zeit in Form von Regressionsgleichungen (y), Regressionskoeffizienten (r) und dem Grad der Signifikanz der Korrelationen (P) zusammengestellt und zwar jeweils für die Zeit vom 3. - 9. sowie 9. - 73. Versuchstag nach Beginn der Untersuchungen. Der Zeitraum 3 - 9 Tage repräsentiert die Phase der ^{65}Zn -Zunahme in Organen und Geweben, die Zeitspanne vom 9. - 73. Tag ihren Abfall. Der Anstieg fällt praktisch zusammen mit der Applikation des ^{65}Zn an die Tiere. Die Tabellen 18 - 19 (S. 57 - 58) führen die Ergebnisse der Regressionsanalyse für Hähne und die Tabellen 20 - 21 (S. 59 - 60) für Hennen auf.

Die Ergebnisse der Regressionsanalyse der Tabellen 18 - 21 sind in Form von Kurven in den Abbildungen 5 - 20 (S. 71 - 86) dargestellt, wobei die graphischen Darstellungen 5 - 12 (S. 71 - 78) die Regressionsanalysen der untersuchten Organe und Gewebe der Hähne, die Abbildungen 13 - 20 (S. 79 - 86) die der Hennen wiedergeben.

Im einzelnen informieren über die Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivität von der Zeit

bei H ä h n e n :

Abb. 5 für Magen und Darm (S. 71),
Abb. 6 für Milz und Blut (S. 72),
Abb. 7 für Leber und Knochen (S. 73),
Abb. 8 für Nieren und Pankreas (S. 74),
Abb. 9 für Herz und Lunge (S. 75),
Abb. 10 für Geschlechtsorgane (Hoden) (S. 76),
Abb. 11 für Rumpf- und Extremitätenmuskulatur (S. 77),
Abb. 12 für Federn, Haut und Kopfanhang (S. 78),

und

bei H e n n e n :

Abb. 13 für Magen und Darm (S. 79),
Abb. 14 für Milz und Blut (S. 80),
Abb. 15 für Knochen und Leber (S. 81),
Abb. 16 für Nieren und Pankreas (S. 82),

Abb. 17 für Herz und Lunge (S. 83),
Abb. 18 für Geschlechtsorgane (S. 84),
Abb. 19 für Rumpf- und Extremitätenmuskulatur (S. 85),
Abb. 20 für Federn, Haut und Kopfanhang (S. 86).

In Tab. 22 (S. 61) sind für ^{65}Zn in den untersuchten Organen und Geweben von Hähnen und Hennen errechnete biologische Halbwertszeiten ($\text{HWZ}_{\text{biol.}}$) zusammengestellt. Die Tabellen 23 - 28 (S. 62 - 67) zeigen jeweils die prozentualen Anteile der untersuchten Organe und Gewebe an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität zum Zeitpunkt der Tötung und zwar

bei H ä h n e n :

Tab. 23 für Magen, Darm, Blut, Leber, Herz, Lunge (S. 62),
Tab. 24 für Milz, Nieren, Pankreas und Geschlechtsorgane (Hoden) (S. 63),
Tab. 25 für Kopfanhang, Haut, Rumpf- und Extremitätenmuskulatur sowie Knochen (S. 64),

und

bei H e n n e n :

Tab. 26 für Magen, Darm, Blut, Leber, Herz, Lunge (S. 65),
Tab. 27 für Milz, Nieren, Pankreas und Geschlechtsorgane (S. 66),
Tab. 28 für Kopfanhang, Haut, Rumpf- und Extremitätenmuskulatur sowie Knochen (S. 67).

In den Abbildungen 21 - 27 (S. 87 - 93) sind die Ergebnisse der Tabellen 23 - 28 in Form von Kurven graphisch dargestellt,

in den Abbildungen 21 - 24 (S. 87 - 90) für Hähne und den Abbildungen 25 - 27 (S. 91 - 93) für Hennen.

Bei H ä h n e n gibt Aufschluß

Abb. 21 über den prozentualen Anteil von Leber, Knochen, Rumpf- und Extremitätenmuskulatur, sowie Kopfanhang und Haut an der Gesamtaktivität der Tierkörper während der Versuchsdauer (S. 87),
Abb. 22 von Darm, Nieren und Pankreas (S. 88),

Abb. 23 von Lunge, Blut und Milz (S. 89),

Abb. 24 von Magen, Herz und Geschlechtsorganen (Hoden)
(S. 90),

und

bei H e n n e n

Abb. 25 von Leber, Knochen, Rumpf- und Extremitäten-
muskulatur sowie Kopfanhang und Haut (S. 91),

Abb. 26 von Darm, Nieren, Pankreas und Geschlechts-
organen (S. 92),

Abb. 27 von Magen, Blut, Herz, Lunge und Milz (S. 93).

Die Leber wurde in Abb. 21 und 25 zur Demonstration des prozentualen Anteils eines stark ^{65}Zn -kontaminierten Organs geringer Größe an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität, Massengeweben mit geringeren ^{65}Zn -Gehalten vergleichsweise gegenübergestellt.

Die Tabellen 29 - 30 (S. 68 - 69) geben Auskunft über den prozentualen Anteil der ^{65}Zn -Aktivitäten von Organen bzw. Speichergeweben an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität (= 100 %) bei zu verschiedenen Zeitpunkten während des Versuchs geschlachteten Hähnen und Hennen, Tab. 29 (S. 68) für Hähne und Tab. 30 (S. 69) für Hennen.

Die Abbildungen 28 und 29 veranschaulichen die Ergebnisse der Tabellen 29 und 30, Abb. 28 (S. 94) für Hähne und die Abb. 29 (S. 95) für Hennen.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit mußte auf eine nahe-
liegende gemeinsame Darstellung der ^{65}Zn -Aktivitäten bzw. der Ergebnisse der Regressionsanalysen gleicher Organe von Hahn und Henne verzichtet werden, da oft recht unterschiedliche Aktivitäten die graphische Wiedergabe so beeinträchtigt hätten, daß das Wesentliche nicht immer mit der erwünschten Klarheit hervorgetreten wäre. Es wurden deshalb pro Abbildung jeweils 2 Organe oder/und Gewebe mit etwa annähernd gleichen ^{65}Zn -Aktivitäten zusammen dargestellt.

II. Besprechung der Ergebnisse

1. Retention des ^{65}Zn in Organen und Geweben von Hahn und Henne

Aus den Tabellen 10 und 11 sowie Abb. 4 wird ersichtlich, daß Organe und Gewebe von Hähnen i. d. R. mehr als doppelt so viel appliziertes ^{65}Zn retinieren als Hennen. Organe und Gewebe am 3. Versuchstag nach Applikation von 2 Einzeldosen ^{65}Zn geschlachteter Hähne enthielten zum Tötungszeitpunkt 5 - 6 % des verabreichten ^{65}Zn , bei Hennen dagegen nur 1 - 3 %. Prozentual am meisten ^{65}Zn wiesen Organe und Gewebe am 5. Versuchstag nach der 3. ^{65}Zn -Applikation geschlachteter Hähne mit annähernd 11 % auf, bei Hennen mit 4 % dagegen erst am 10. Tag nach Verabreichung der 5. Dosis ^{65}Zn .

Nach Beendigung der ^{65}Zn -Applikationen - die Tiere hatten bis zu diesem Zeitpunkt insgesamt 5 Einzeldosen ^{65}Zn verabreicht erhalten - wurden in den Organen und Geweben der Hähne 6 - 8 % der insgesamt verabreichten ^{65}Zn -Aktivität gemessen, bei Hennen nur 2 - 3 %. Ab dem 10. Versuchstag wiesen dann bis zu Versuchsende am 73. Tag mit Ausnahme vom 25. Tag i. d. R. Organe und Gewebe von Hähnen mehr verabreichtes ^{65}Zn auf als Hennen.

Am 73. Tag waren es bei Hähnen noch 0,9 %, bei Hennen nur 0,5 %.

Vor allem auch die Betrachtung des Verlaufs der beiden Kurven in Abb. 4 läßt erkennen, daß Hähne mehr ^{65}Zn rascher aufnehmen als Hennen, es offenbar aber auch wieder rascher abgeben, wodurch bei Hähnen die wesentlich stärkeren Schwankungen des Kurvenverlaufs zustandekommen. Bei Hennen verläuft er viel gleichförmiger. Der jeweilige Anstieg des retinierten ^{65}Zn nach dessen Applikation erfolgt bei Hähnen frühzeitiger als bei Hennen, woraus bei Hähnen auf eine raschere ^{65}Zn -

Resorption geschlossen werden kann. Andererseits besitzen nach dem Verlauf der Kurven und der Daten von Tab. 10 und 11 zu urteilen Hähne eine höhere ^{65}Zn -Resorption als Hennen. Ob die bei Hennen am 10. und 25. Versuchstag höheren ^{65}Zn -Retentionsraten zufälliger Natur sind, kann bei den von Tier zu Tier oft erheblich schwankenden ^{65}Zn -Retentionsraten anhand der untersuchten Tierzahl nicht mit Sicherheit entschieden werden.

2. Verteilung des ^{65}Zn im Körper von Hahn und Henne

Über in den untersuchten Organen und Geweben gemessene ^{65}Zn -Aktivitäten sowie ihre Verteilung in Tierkörpern von Hähnen und Hennen geben die Tabellen 12 - 17 zusammen mit den Abbildungen 5 - 20 Aufschluß. Ihre synoptische Betrachtung läßt erkennen, daß Organe und Gewebe von Hähnen i. d. R. erheblich mehr ^{65}Zn aufweisen als bei Hennen.

Organe am 9. Tag nach Verabreichung der letzten von 5 Einzeldosen ^{65}Zn geschlachteter Hähne enthielten zwischen ca. 80 und 230 pCi ^{65}Zn /g Frischgewicht, die zum gleichen Zeitpunkt getöteter Hennen dagegen nur ca. 30 - 130 pCi/g Frischgewicht.

Nicht ganz so ausgeprägte Unterschiede bestanden im ^{65}Zn -Gehalt in den von Hähnen und Hennen untersuchten Geweben, wenn auch die von Hähnen häufiger die höheren ^{65}Zn -Konzentrationen aufwiesen. Die höchsten ^{65}Zn -Aktivitäten wurden bei Hähnen und Hennen in Leber und Pankreas gemessen, gefolgt von Herz, Nieren und Milz bei Hähnen bzw. Milz, Nieren und Darm bei Hennen. Die niedrigsten ^{65}Zn -Konzentrationen enthielten bei Hähnen Kopfanhang, Haut, Federn. Rumpf- und Extremitätenmuskulatur.

Die ^{65}Zn -Aktivitäten der übrigen untersuchten Organe und Gewebe bewegten sich zwischen den bereits genannten Gruppen. Dabei fiel jedoch auf, daß unter diesen die Knochen von Hennen höhere ^{65}Zn -Aktivitäten beherbergten

als bei Hühnen. Von den übrigen Organen und Geweben enthielten fast stets die von Hühnen mehr ^{65}Zn . Im Knochen von Hennen waren 70 pCi $^{65}\text{Zn/g}$ Frischgewicht gemessen worden, bei Hühnen jedoch nur 30 pCi/g Frischgewicht. Ein sehr rascher relativer und absoluter ^{65}Zn -Abfall wurde i. d. R. bei Organen mit den höchsten ^{65}Zn -Aktivitäten beobachtet, ein langsamerer hingegen bei den Geweben.

Über die prozentualen Anteile einzelner Organe und Gewebe an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität von Hühnen und Hennen während der Versuchsdauer informieren die Tabellen 23 - 28 sowie die Abbildungen 21 - 27. Dabei wurde die ^{65}Zn -Aktivität zum Zeitpunkt der Tötung im Tierkörper abzüglich der Federn gleich 100 % gesetzt. Die Federn konnten nicht in die Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität mit einbezogen werden, da sie teilweise so stark mit Kot verschmutzt waren, daß die Entfernung des den Federn anhaftenden Kotzinks nicht immer gewährleistet erschien.

Die Angaben der prozentualen Anteile an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität vergegenständlichen gewissermaßen für die untersuchten Organe und Gewebe die absoluten auf 1 g Frischgewicht bezogenen ^{65}Zn -Aktivitäten und erlauben zudem einen guten Einblick in die Kinetik des ^{65}Zn und damit vermutlich auch des Zn-Stoffwechsels von Hühnen und Hennen.

Tab. 23 - 25 und Abb. 21 - 24 kann entnommen werden, daß am 3. Versuchstag bei Hühnen die Lebern 30 %, die Därme 15 %, Haut und Knochen je 10 %, Nieren und Extremitätenmuskulatur jeweils 7 % und die Rumpfmuskulatur 4 % der verabreichten ^{65}Zn -Aktivität enthielten. Der Beitrag der restlichen Organe und Gewebe lag jeweils bei 1 % (Kopfanhang) und 3 % (Pankreas, Blut, Herz, Magen und Hoden).

Bei Hühnen wurden zu Versuchsende am 73. Tag in den Knochen etwa 25 %, in der Extremitätenmuskulatur rund 20 %, in der Rumpfmuskulatur 15 %, in der Leber knapp 10 % und in der Haut 0 % des zu diesem Zeitpunkt noch

im Tierkörper befindlichen ^{65}Zn gemessen. Die niedrigsten prozentualen ^{65}Zn -Beiträge zur Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität lieferten am 73. Tag mit < als 0,5 % das Pankreas und die Milz. Die Prozentsätze der übrigen Organe und Gewebe lagen zwischen 1 und 3 %. Der Vergleich der prozentualen Anteile der untersuchten Organe und Gewebe mit den Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivitäten zeigt, daß am 73. Tag relativ zum 2. Tag nur Knochen, Extremitäten- und Rumpfmuskulatur höhere, Milz und Kopfanhänge etwa gleichgebliebene und alle anderen Organe und Gewebe zum Teil erheblich niedrigere Prozentsätze aufwiesen. Die absoluten ^{65}Zn -Aktivitäten von Organen und Geweben machten am 73. Tag i. d. R. nur noch wenige Prozent oder Bruchteile der am 3. Tag gemessenen aus.

Am auffälligsten war am 73. Tag der Anstieg des prozentualen Anteils von Extremitäten- und Rumpfmuskulatur an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität des Tierkörpers. Er betrug rund 10 % bei der Rumpf- und 20 % bei der Extremitätenmuskulatur.

Starke Abnahmen konnten dagegen bei Leber (- 17 %), Darm (- 12 %) und Nieren (- 4 %) registriert werden. Der prozentuale Beitrag der übrigen Organe und Gewebe zur Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität nahm i. d. R. weit weniger stark ab.

Zur Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität trug am 7. Versuchstag bei Hennen allein die Leber mit 27 % bei, gefolgt von Knochen mit 19 %, dem Darm mit 13 %, der Extremitätenmuskulatur mit 8 % und der Rumpfmuskulatur sowie Geschlechtsorganen mit je 7 %.

Die niedrigsten Anteile an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität am 7. Versuchstag wurden in Kopfanhang, Milz und Pankreas mit je 1 % gemessen. Die prozentualen Anteile der übrigen untersuchten Organe und Gewebe lagen zwischen ca. 3 % in Herz, Lunge und Haut und 4 % in Nieren und Magen.

Am 73. Versuchstag wurden die höchsten prozentualen Anteile mit 38 % in der Extremitätenmuskulatur, mit 28 %

im Knochen (am 17. Tag 40 %) und mit 18 % in der Rumpfmuskulatur ermittelt. Es folgen Leber und Haut mit je 5 %. Als praktisch frei von ^{65}Zn erwiesen sich zu diesem Zeitpunkt Pankreas, Darm, Lunge und Geschlechtsorgane. Die Anteile der restlichen untersuchten Organe und Gewebe bewegten sich zwischen 1 % in Blut sowie Herz und 3 % im Magen.

Der Vergleich der prozentualen Anteile der untersuchten Organe und Gewebe an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität am 7. und 73. Versuchstag geschlachteter Hennen ergibt, daß am 73. Tag nur Extremitätenmuskulatur (+ 30 %), Knochen (+ 10 %), Rumpfmuskulatur (+ 11 %) und Haut (+ 2%) eine Zunahme aufwiesen, die Prozente bei Milz und Herz gleichblieben oder nur geringfügig abnahmen. Am augenfälligsten war der Rückgang bei der Leber mit 22 % und beim Darm mit 12 %.

Sowohl bei Hähnen und Hennen fällt auf, daß im Laufe des Versuchs die prozentualen Anteile von Knochen, Rumpf- und Extremitätenmuskulatur, sowie der Haut an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität zunehmen, die von Milz und Kopfanhang in etwa konstant bleiben und die aller anderen Organe sich verringern.

In Knochen, Rumpf- und Extremitätenmuskulatur sowie Haut erfolgt, relativ betrachtet zu den anderen untersuchten Organen und Geweben, eine Zunahme ihres Beitrages an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität. Allerdings scheinen, wie v. a. ein Blick auf die Tabellen 25 und 28 und Abbildungen 21 und 25 zeigt, bei Hahn und Henne erhebliche Unterschiede in der Dynamik des ^{65}Zn -Metabolismus zu bestehen. Am deutlichsten sind die Unterschiede offenbar in Muskulatur und Knochen. Bei Hennen betrug am 73. Tag die prozentuale Zunahme des ^{65}Zn -Anteils der Extremitätenmuskulatur an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität im Vergleich zum 7. Versuchstag rund 30 % gegenüber etwa 20 % beim Hahn, bei Rumpfmuskulatur von Hähnen und Hennen jeweils 11 %. Hähne wiesen zwar am 73. Tag in den Knochen mit 14 % eine

ca. doppelt so hohe Zunahme des prozentualen ^{65}Zn -Anteils auf wie Hennen, doch läßt ein Blick auf die Tabellen 25 und 28 bzw. Abbildungen 21 und 25 erkennen, daß die Knochen der Hennen bereits am 17. Versuchstag mit 40 % rund 15 % mehr ^{65}Zn beherbergten als bei Hähnen am 73. Tag. Gegen Versuchsende enthielten die Knochen von Hähnen und Hennen mit 30 % jeweils gleich hohe prozentuale Anteile.

Aus diesem Verhalten darf auf einen intensiveren ^{65}Zn - bzw. Zn-Stoffwechsel im Knochen von Hennen geschlossen werden, was bei der Funktion des Knochens als Mineralstoffreservoir für die Eibildung nicht überrascht. Im Gegensatz zu Extremitäten-, Rumpfmuskulatur, Knochen und Haut war am 73. Tag bei den untersuchten Organen ein zum Teil erheblicher Abfall ihrer prozentualen Anteile an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität zu beobachten. Er bewegte sich in der Leber (- 20 %) etwa in der gleichen Größenordnung wie die prozentuale Zunahme in der Extremitätenmuskulatur und den Knochen. Lediglich bei Magen, Milz und Kopfanhang blieb der prozentuale Anteil praktisch unverändert. Der Rückgang der prozentualen Anteile am 73. Tag war bei Hähnen in Nieren, Pankreas und Blut stärker, bei Hennen in Leber und Geschlechtsorganen.

Praktisch keine oder nur geringfügige Unterschiede bestanden bei Hahn und Henne in den übrigen untersuchten Organen und Geweben. Die Unterschiede in den prozentualen ^{65}Zn -Anteilen deuten auf bestimmte Divergenzen im Stoffwechselverhalten des ^{65}Zn und damit vermutlich auch des Zn im Organismus von Hahn und Henne hin. Sie dürften bei Hähnen wahrscheinlich Ausdruck der höheren Stoffwechselintensität und der unterschiedlichen Retentionsbereitschaft einzelner Organe und Gewebe für Zn im Organismus von Hahn und Henne sein.

Die untersuchten Organe lassen sich, wenn anhand der im Verlaufe der Dauer des Versuchs festgestellten Ver-

schiebungen ihrer prozentualen Anteile an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität eine Gruppierung erfolgen soll, zumindest beim Hahn folgenden 3 Gruppen zuordnen:

1. In Organe, deren prozentualer Anteil nach Beendigung der ^{65}Zn -Applikation an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität rasch abnimmt; dazu zählen Leber, Pankreas, Darm und Nieren;
2. in Organe, deren ^{65}Zn -Gehalt auf Grund ihrer besonders intensiven Durchblutung zeitlich größeren, relativ raschen Schwankungen unterliegt, wie z. B. in Lunge und Milz; hier wäre auch das Blut einzuordnen;
und
3. in Organe, die wegen eines höheren Anteils an Muskelgewebe keinen allzu raschen Rückgang des prozentualen Zn-Gehaltes erwarten lassen. Hierzu gehören Herz, Magen und Geschlechtsorgane (Hoden).

Ein Blick auf Abb. 28 (Hähne) und 29 (Hennen) bestätigt die größere Bereitschaft des Organismus der Hennen resorbiertes ^{65}Zn im Körper länger zu retinieren als Hähne. Der prozentuale Anteil von Extremitäten-, Rumpfmuskulatur, Knochen, Haut und Kopfanhang von Hähnen und Hennen - sie werden in Abb. 28 und 29 als Speichergewebe bezeichnet - nimmt im Laufe des Versuchs in dem Maße zu, wie er in den Organen abnimmt. Der prozentuale Anteil der Speichergewebe an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität steigt bei Hähnen von etwa 30 % am 3. Versuchstag auf rund 80 % am 73. Tag, bei Hennen von etwa 36 % am 7. Versuchstag auf rund 90 %. Dementsprechend fällt bei Hähnen der Anteil der untersuchten Organe von 70 % am 3. auf 20 % am 73. Versuchstag ab, bei Hennen von 64 % am 7. auf 10 % am 73. Versuchstag.

3. Biologische Halbwertszeiten des ^{65}Zn in Organen und Geweben von Hahn und Henne

Anhaltspunkte für das Stoffwechselverhalten des ^{65}Zn liefert auch seine biologische Halbwertszeit ($\text{HWZ}_{\text{biol.}}$) im Organismus bzw. einzelner seiner Organe und Gewebe. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde als $\text{HWZ}_{\text{biol.}}$ die Zeit definiert, die ab der letzten Verabreichung von ^{65}Zn am 9. Versuchstag verstreicht, bis das ^{65}Zn auf die Hälfte seiner ursprünglichen am 9. Tag vorhanden gewesenen Aktivität abgeklungen ist.

Tab. 22 gibt getrennt für Hähne und Hennen Aufschluß über die $\text{HWZ}_{\text{biol.}}$ in den untersuchten Organen und Geweben. Von der Ermittlung einer $\text{HWZ}_{\text{biol.}}$ für das Huhn bzw. für Hahn und Henne wurde angesichts der zum Teil sehr erheblichen Unterschiede in den Halbwertszeiten verschiedener Organe und Gewebe eines Organismus Abstand genommen.

Tab. 22 zeigt, daß die biologischen Halbwertszeiten von Organen und Geweben innerhalb eines Organismus stark differieren. Sie schwanken beim Hahn zwischen 3 Tagen im Kopfanhang und 70 Tagen in der Rumpfmuskulatur, bei Hennen zwischen 3 Tagen für Darm, Geschlechtsorgane und Kopfanhang und 63 Tagen in der Extremitätenmuskulatur.

Relativ lange biologische Halbwertszeiten wurden bei Hähnen und Hennen auch für die übrigen Speichergewebe ermittelt. Sie betrugen bei Hähnen im Knochen 40 Tage, in der Extremitätenmuskulatur 43 und in der Haut 16 Tage, bei Hennen in der Rumpfmuskulatur 24 Tage, in Knochen und Haut etwa 19 Tage. Die biologischen Halbwertszeiten der übrigen untersuchten Organe und Gewebe bewegten sich zwischen 4 und 7 Tagen bei Hähnen und 4 und 16 Tagen bei Hennen. Ein Vergleich der biologischen Halbwertszeiten in Organen und Geweben von Hähnen mit den entsprechenden Werten bei Hennen läßt erkennen, daß bei Hähnen die

Spanne zwischen kürzester und längster $HWZ_{biol.}$ breiter ist als bei Hennen.

Überraschenderweise wies die Extremitätenmuskulatur von Hennen eine um etwa 20 Tage längere biologische Halbwertszeit auf als bei Hähnen. Ob der Grund dafür darin zu suchen ist, daß die Extremitätenmuskulatur der Henne geringeren Dauerbelastungen ausgesetzt und damit weniger stoffwechselintensiv ist als beim Hahn, kann nur vermutet werden. Die biologischen Halbwertszeiten der Rumpfmuskulatur von Hahn und Henne verhalten sich gerade umgekehrt. Hier weisen Hähne eine etwa 3mal so lange $HWZ_{biol.}$ auf als Hennen. Die kürzere $HWZ_{biol.}$ der Rumpfmuskulatur der Hennen erklärt sich vielleicht aus den kurzzeitigen stärkeren Beanspruchungen durch die Legetätigkeit, welche bei Hennen eine intensivere Stoffwechseltätigkeit als beim Hahn voraussetzt. Auch die mehr als doppelt so kurze biologische Halbwertszeit des ^{65}Zn im Knochen von Hennen könnte ursächlich mit einer intensiveren Beanspruchung seines Mineralmetabolismus durch die Legetätigkeit der Hennen erklärt werden. Weiter fällt auf, daß auch zwischen biologischen Halbwertszeiten von Magen, Herz und Milz bei Hähnen und Hennen Unterschiede bestehen, die aber nicht den Umfang wie bei der Extremitäten-, Rumpfmuskulatur und Knochen erreichen. Die Milz weist bei Hennen eine 10 Tage, das Herz eine um 6 und der Magen eine 3 Tage längere $HWZ_{biol.}$ als beim Hahn auf

Dagegen sind die Unterschiede in den biologischen Halbwertszeiten von Kopfanhang, Geschlechtsorganen, Därmen, Blut, Leber und Lungen bei Hähnen größer; Pankreas und Nieren besitzen bei Hennen etwas längere Halbwertszeiten als beim Hahn. Die Unterschiede erweisen sich jedoch als nicht groß genug, um daraus verbindliche Aussagen über eine unterschiedliche Verweildauer des ^{65}Zn bei Hahn und Henne in diesen Organen und Geweben ableiten zu können.

Ordnet man die untersuchten Organe und Gewebe von Hähnen und Hennen nach ihren biologischen Halbwertszeiten an, könnte zunächst zwischen 2 Gruppen differenziert werden, nämlich zwischen:

1. Organen und Geweben mit biologischen Halbwertszeiten von länger als 16 Tagen und
2. Organen und Geweben mit biologischen Halbwertszeiten von kürzer als 16 Tagen.

Zur ersteren Gruppe zählen die sogenannten Speichergewebe Extremitäten-, Rumpfmuskulatur, Knochen und Haut, bei der Henne auch Federn und Milz, zur zweiten die restlichen untersuchten Organe und Gewebe. In ihr könnte anhand der biologischen Halbwertszeiten eine nochmalige Unterteilung in 3 weitere Gruppen vorgenommen werden, nämlich in:

Gruppe 1: Das sind Kopfanhang und Geschlechtsorgane. Sie wiesen von allen untersuchten Organen und Geweben die kürzesten biologischen Halbwertszeiten auf; vermutlich resultieren sie aus dem relativ geringen Gehalt dieser Organe an ^{65}Zn bei gleichzeitiger starker Durchblutung;

Gruppe 2: Das sind Herz, Blut, Lunge und Milz. Diese Gewebe lassen einen Trend zur längeren biologischen Halbwertszeit erkennen. Ihnen kommt im ^{65}Zn -Stoffwechsel des Organismus offenbar eine Art Vehikelfunktion zwischen Organen und Speichergeweben zu; und

Gruppe 3: Das sind Leber, Pankreas, Nieren, Darm und Magen. Diese Gewebe können als Organe des Zn-Umsatzes gelten. Ihre biologischen Halbwertszeiten liegen zwischen den Halbwertszeiten der Gruppe 1 und 2.

Die Betrachtung von biologischen Halbwertszeiten und den prozentualen Anteilen der einzelnen untersuchten Organe und Gewebe an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität zeigt, daß in der Kinetik des ^{65}Zn innerhalb des Organismus offensichtlich bestimmte Gesetzmäßigkeiten bestehen, dasgleiche trifft auch für den Zn-Stoffwechsel von Hahn und Henne zu. Vermutlich sind sie Ausdruck einer funktionellen Anpassung an die unterschiedlichen physiologischen Gegebenheiten im Organismus von Hahn und Henne.

T A B E L L E 10

H ä h n e :

^{65}Zn -Aktivitäten der Organe und Gewebe in pCi und in Prozent der verabreichten Dosis ^{65}Zn

Versuchstag	Nummern der Tiere	^{65}Zn -Aktivität (pCi)	^{65}Zn -Aktivität in % der verabr. Dosis ^{65}Zn
3.	101	22316	4,49
	102	25256	5,63
5.	103	64658	9,97
	104	77229	11,91
7.	105	52763	6,10
	106	41790	4,66
9.	107	66617	5,90
	108	82295	8,22
10.	109	38269	3,18
	110	26934	2,10
11.	111	45431	4,36
	112	40797	3,51
14.	113	47332	4,55
	114	27030	2,50
17.	115	64887	5,40
	116	46884	4,50
25.	117	15980	1,53
	118	21795	2,09
42.	119	27408	2,85
	120	23000	2,30
73.	121	6170	0,61
	122	12363	1,18

T A B E L L E 11

H e n n e n :

⁶⁵Zn-Aktivitäten der Organe und Gewebe in pCi und in Prozent der verabreichten Dosis ⁶⁵Zn

Versuchstag	Nummern der Tiere	⁶⁵ Zn-Aktivität (pCi)	⁶⁵ Zn-Aktivität in % der verabr. Dosis ⁶⁵ Zn
3.	221	3514	0,95
	222	11087	3,46
5.	201	10992	2,41
	202	7573	1,57
7.	203	27170	3,14
	204	12508	1,95
9.	205	17649	2,00
	206	17484	2,57
10.	207	16207	2,02
	208	30303	3,78
11.	209	13300	1,58
	210	18292	2,28
14.	211	25113	2,85
	212	24988	3,28
17.	213	22822	2,37
	214	30504	3,31
25.	215	14898	2,19
	216	20097	1,93
42.	217	11911	1,06
	218	5708	0,83
73.	219	5250	0,65
	220	3769	0,49

T A B E L L E 12

H ä h n e :

⁶⁵Zn-Aktivitäten (pCi/g Frischgewicht) der Organe

Nummern der Tiere	Magen	Darm	Blut	Leber	Herz	Lunge
101	26	87	8	153	43	17
102	27	62	9	127	67	115
103	129	131	41	388	230	95
104	130	193	35	486	226	48
105	89	111	28	363	147	379
106	51	108	17	201	88	496
107	114	154	32	378	190	96
108	145	156	52	497	266	220
109	70	67	23	154	118	45
110	42	47	14	36	96	24
111	75	83	30	170	144	32
112	59	72	28	135	115	39
113	99	74	34	170	179	51
114	62	53	19	75	158	49
115	122	82	74	179	152	141
116	51	44	15	66	71	7
117	21	11	5	24	17	21
118	37	20	9	35	66	23
119	37	25	6	54	31	110
120		21	7	48	27	6
121	4	2	1	5	4	1
122	11	7	2	21	16	6

T A B E L L E 13

H ä h n e :

⁶⁵Zn-Aktivitäten (pCi/g Frischgewicht) der Organe

Nummern Milz Nieren Pankreas Hoden
der Tiere

101	76	109	114	13
102	82	119	160	25
103	285	326	423	90
104		254	430	86
105	193	256	315	70
106	124	187	209	37
107	190	220	207	82
108	238	287	22	104
109	105	143	188	48
110	74	97	126	35
111	117	111	226	49
112	92	102	142	31
113	111	147	216	60
114	85	85	126	38
115	111	66	169	79
116	49	65	83	27
117	16	21	26	
118	29	36	55	19
119	43	48	81	17
120	35	37	60	8

T A B E L L E 14

H e h n e :

⁶⁵Zn-Aktivitäten (pCi/g Frischgewicht) der Gewebe

Nummern der Tiere	Kopf- anhang	Haut Rumpf- muskulatur	Extremitäten- muskulatur	Knochen	Federn	
101	2	8	3	5	8	11
102	3	21	4	6	11	10
103	22	18	16	32	35	62
104	19	21	19	34	57	44
105	8	12	9	21	29	19
106	4	7	8	10		16
107		20	3	33	40	53
108	15	26	27	45	55	35
109	7	15	13	22	25	8
110	11	6	10	15	16	19
111	9	19	41	25	34	22
112	6	11	11	22	20	23
113	10	18	20	39	32	32
114	6	10	13	24	18	19
115	13	24	30	60	46	16
116						24
117	1	2	5	13	18	13
118	3	9	8	23	22	17
119	3	12	18	32	35	28
120	3	11	14	28	20	47
121	1	2	2	6	9	19
122	1	4	7	13	13	25

T A B E L L E 15

H e n n e n :

⁶⁵Zn-Aktivitäten (pCi/g Frischgewicht) der Organe

Nummer der Tiere	Magen	Darm	Blut	Leber	Herz	Lunge
221	6	11	4	27	13	7
222	22	44	13	77	32	16
201	14	32	9	49	37	41
202	14	21	9	36	29	16
203	28	76	20	101	47	66
204	17	39	9	68	39	16
205	42	60	22	135	21	29
206	30	68	20	125	33	23
207	26	26	10	79	35	17
208	51	63	24	173	9	83
209	23	14	9	41	26	
210	34	22	12	55	44	21
211	35	20	12	61	27	25
212	44	30	20	65	51	29
213	32	19	11	45	36	17
214	60	25	23	63	58	27
215	27	10	7	24	29	7
216	34	16	7	40	32	19
217	17	7	4	19	15	5
218	10	1	2	8	9	7
219	4	1	1	3	4	1
220	3	1	1	4	4	1

T A B E L L E 16

H e n n e n :

⁶⁵Zn-Aktivitäten (pCi/g Frischgewicht) der Organe

Nummern Milz Nieren Pankreas Geschlechtsorgane
der Tiere

221	61	15	23	
222	33	62	51	
201	71	36	40	
202	193	37	45	
203	100	89	80	30
204	51	88	47	1
205	101	67	79	24
206	69	64	79	16
207	73	59	121	23
208		118	111	45
209	132	27	36	12
210	84	52	30	23
211	47	41	65	22
212	71	54	59	33
213	45	31	53	12
214	72	53	51	24
215	48	24	61	6
216	33	31	37	9
217	26	9	13	3
218		8	25	11
219	29	9	7	1
220	19	3	1	1

T A B E L L E 17

N e n n e n :

⁶⁵Zn-Aktivitäten (pCi/g Frischgewicht) der Gewebe

Nummern der Tiere	Kopf- anhang	Haut	Rumpf- muskulatur	Extremitäten- muskulatur	Knochen	Federn
221	3	1	1	1	2	3
222	5	2	2	3	22	2
201	13	3	2	4	23	32
202	5	2	1	2	20	8
203	7	3	4	7	39	64
204	6	3	3	4	35	11
205	36	4	4	8	10	9
206	5	4	5	6	70	5
207	5	3	4	7	44	8
208	10	8	7	16	73	7
209	6	2		8	35	4
210	6	20	6	11	61	5
211	9	20	7	15	78	7
212	7	5	7	19	105	7
213	4	4	5	11	96	5
214	8	10	11	26	83	7
215	10	8	7	17	61	5
216	6	4	3	16	58	11
217	1	3	6	8	35	4
218	1	2	3	8	13	2
219	1	2	2	7	17	1
220	1	1	1	5	9	

T A B E L L E 18

H ä h n e :

Ergebnisse der Regressionsanalyse zur Prüfung der Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivität in Organen und Geweben von der Versuchszeit

Versuchszeitraum: 3. - 9. Tag

Zahl der Versuchstiere: n = 8

Proben	y	r	P
Magen	$17,29x^{0,79}$	+ 0,76	< 5 %
Darm	$60,97x^{0,44}$	+ 0,68	> 5 %
Blut	$5,36x^{0,89}$	+ 0,78	< 5 %
Leber	$102,64x^{0,69}$	+ 0,72	< 5 %
Herz	$37,15x^{0,85}$	+ 0,71	< 5 %
Lunge	$18,23x^{1,25}$	+ 0,63	> 5 %
Milz	$58,13x^{0,64}$	+ 0,74	< 5 %
Nieren	$93,87x^{0,52}$	+ 0,73	< 5 %
Pankreas	$280,24x^{-0,3}$	- 0,17	> 5 %
Hoden	$11,21x^{1,03}$	+ 0,77	< 5 %
Kopfanhang	$1,76x^{1,02}$	+ 0,57	> 5 %
Haut	$11,70x^{0,17}$	+ 0,19	> 5 %
Rumpf- muskulatur	$3,27x^{0,62}$	+ 0,40	> 5 %
Extremitäten- muskulatur	$3,12x^{1,16}$	+ 0,75	< 5 %
Knochen	$5,61x^{1,09}$	+ 0,83	< 5 %
Federn	$8,13x^{0,76}$	+ 0,59	> 5 %

y = Regressionsgleichung

r = Korrelationskoeffizient

P = Irrtumswahrscheinlichkeit für r

T A B E L L E 19

H ä h n e :

Ergebnisse der Regressionsanalyse zur Prüfung der Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivität in Organen und Geweben von der Versuchszeit

Versuchszeitraum: 9. - 73. Tag

Zahl der Versuchstiere: n = 16

Proben	y	r	P
Magen	$1048,86x^{-1,1}$	- 0,85	< 1 %
Darm	$2005,96x^{-1,38}$	- 0,89	< 1 %
Blut	$663,39x^{-1,34}$	- 0,86	< 1 %
Leber	$2736,43x^{-1,25}$	- 0,80	< 1 %
Herz	$3510,32x^{-1,37}$	- 0,89	< 1 %
Lunge	$991,80x^{-1,23}$	- 0,67	< 1 %
Milz	$1956,47x^{-1,23}$	- 0,89	< 1 %
Nieren	$3048,72x^{-1,35}$	- 0,91	< 1 %
Pankreas	$8939,50x^{-1,75}$	- 0,68	< 1 %
Hoden	$4049,09x^{-1,82}$	- 0,82	< 1 %
Kopfanhang	$877,70x^{-1,91}$	- 0,90	< 1 %
Haut	$63,11x^{-0,63}$	- 0,61	> 1 %
Rumpf- muskulatur	$28,26x^{-0,30}$	- 0,31	> 5 %
Extremitäten- muskulatur	$69,00x^{-0,37}$	- 0,51	< 5 %
Knochen	$66,07x^{-0,35}$	- 0,56	< 5 %
Federn	$21,09x^{0,02}$	+ 0,04	-

y = Regressionsgleichung

r = Korrelationskoeffizient

P = Irrtumswahrscheinlichkeit für r

T A B E L L E 20

H e n n e n :

Ergebnisse der Regressionsanalyse zur Prüfung der Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivität in Organen und Geweben von der Versuchszeit

Versuchszeitraum: 3. - 9. Tag

Zahl der Versuchstiere: n = 8

Proben	y	r	P
Magen	$5,91x^{0,77}$	+ 0,71	< 5 %
Darm	$11,07x^{0,82}$	+ 0,70	> 5 %
Blut	$3,88x^{0,73}$	+ 0,70	> 5 %
Leber	$22,18x^{0,74}$	+ 0,71	< 5 %
Herz	$18,76x^{0,3}$	+ 0,41	> 5 %
Lunge	$7,49x^{0,71}$	+ 0,58	> 5 %
Milz	$42,52x^{0,37}$	+ 0,40	> 5 %
Nieren	$17,81x^{0,69}$	+ 0,65	> 5 %
Pankreas	$21,11x^{0,59}$	+ 0,77	< 5 %
Geschlechts- organe	$0,007x^{3,47}$	+ 0,76	< 5 %
Kopfanhang	$2,35x^{0,75}$	+ 0,54	> 5 %
Haut	$0,18x^{1,57}$	+ 0,71	< 5 %
Rumpf- muskulatur	$0,63x^{0,87}$	+ 0,78	< 5 %
Extremitäten- muskulatur	$0,79x^{1,02}$	+ 0,82	< 5 %
Knochen	$3,61x^{1,12}$	+ 0,58	> 5 %
Federn	$1,93x^{1,04}$	+ 0,50	> 5 %

y = Regressionsgleichung

r = Korrelationskoeffizient

P = Irrtumswahrscheinlichkeit für r

T A B E L L E 21

H e n n e n :

Ergebnisse der Regressionsanalyse zur Prüfung der Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivität in Organen und Geweben von der Versuchszeit

Versuchszeitraum: 9. - 73. Tag

Zahl der Versuchstiere: n = 16

Proben	y	r	P
Magen	$358,91x^{-0,94}$	- 0,84	< 1 %
Darm	$10414,00x^{-2,41}$	- 0,91	< 1 %
Blut	$1021,20x^{-1,7}$	- 0,86	< 1 %
Leber	$2765,00x^{-1,49}$	- 0,95	< 1 %
Herz	$195,29x^{-0,76}$	- 0,69	< 1 %
Lunge	$2185,00x^{-1,81}$	- 0,85	< 1 %
Milz	$331,06x^{-0,63}$	- 0,87	< 1 %
Nieren	$1064,12x^{-1,23}$	- 0,92	< 1 %
Pankreas	$1692,14x^{-1,33}$	- 0,84	< 1 %
Geschlechts- organe	$3569,42x^{-2,09}$	- 0,86	< 1 %
Kopfanhang	$1158,77x^{-2,05}$	- 0,86	< 1 %
Haut	$24,38x^{-0,58}$	- 0,53	< 5 %
Rumpf- muskulatur	$19,44x^{-0,49}$	- 0,64	< 1 %
Extremitäten- muskulatur	$29,20x^{-0,31}$	- 0,49	> 5 %
Knochen	$212,20x^{-0,56}$	- 0,52	< 5 %
Federn	$30,04x^{-0,63}$	- 0,71	< 1 %

y = Regressionsgleichung

r = Korrelationskoeffizient

P = Irrtumswahrscheinlichkeit für r

T A B E L L E 22

Die biologischen Halbwertszeiten (HWZ_{biol.}) für ⁶⁵Zn
in den Organen und Geweben der Hähne und Hennen

<u>H ä h n e</u>		<u>H e n n e n</u>	
Proben	HWZ _{biol.}	Proben	HWZ _{biol.}
Kopfanhang	3 Tage	Darm	3 Tage
Hoden	4 "	Geschlechts- organe	3 "
Pankreas	4 "	Kopfanhang	3 "
Darm	5 "	Lunge	4 "
Herz	5 "	Blut	4 "
Nieren	5 "	Leber	5 "
Blut	5 "	Pankreas	5 "
Leber	6 "	Nieren	6 "
Lunge	6 "	Magen	9 "
Milz	6 "	Herz	12 "
Magen	7 "	Milz	16 "
Haut	16 "	Federn	16 "
Extremitäten- muskulatur	43 "	Haut	19 "
Knochen	48 "	Knochen	19 "
Rumpf- muskulatur	70 "	Rumpf- muskulatur	24 "
Federn		Extremitäten- muskulatur	63 "

T A B E L L E 23

H ä h n e :

Prozentualer Anteil der Organe an der Gesamt-⁶⁵Zn-Körperaktivität (= 100 %)

Versuchs- tag	Nummern der Tiere	Magen	Darm	Blut	Leber	Herz	Lunge
3.	101 102	3,86	15,2	3,0	28,5	3,3	1,8
5.	103 104	6,8	7,0	4,7	19,0	5,7	2,7
7.	105 106	6,2	7,0	4,1	22,9	4,6	10,9
9.	107 108	4,9	6,9	4,9	22,4	4,3	4,8
10.	109 110	5,7 7,0	5,9 8,4	3,5 2,5	15,3 5,9	5,8 7,7	3,0 1,7
11.	111 112	5,6 6,1	4,9 5,5	0,3 0,9	13,2 19,9	5,0 5,5	1,4 2,7
14.	113 114	7,3 6,3	5,7 3,9	5,0 2,3	10,8 7,7	5,3 9,9	1,7 3,3
17.	115 116	7,5	4,7	8,4	10,5	3,3	3,5
25.	117 118	6,6	2,8	3,0	6,2	4,9	1,5
42.	119 120	3,4	3,1	0,9	5,6	1,4	4,3
73.	121 122	3,6 3,7	2,3 2,8	0,9 1,0	4,3 11,3	1,4 1,7	0,5 0,9

T A B E L L E 24

H ä h n e :

Prozentualer Anteil der Organe an der Gesamt-⁶⁵Zn-Körperaktivität (= 100 %)

Versuchs- tag	Nummern der Tiere	Milz	Nieren	Pankreas	Hoden
3.	101 102	0,9	6,3	3,0	2,9
5.	103 104	0,9	5,9	2,3	4,7
7.	105 106	1,0	5,0	2,5	3,7
9.	107 108	0,8	3,4	0,9	5,9
10.	109 110	1,1 1,6	4,1 4,9	1,7 1,3	6,0 6,3
11.	111 112	0,7 1,1	3,2 5,1	1,6 1,5	6,8 8,4
14.	113 114	0,6 0,5	3,3 3,7	1,9 1,3	4,7 5,3
17.	115 116	0,5	0,6	1,2	3,9
25.	117 118	0,5	2,1	0,8	3,2
42.	119 120	0,3	1,5	0,8	1,9
73.	121 122	0,6 0,2	1,2 2,4	0,1 0,3	0,4 1,1

T A B E L L E 25

H ä h n e :

Prozentualer Anteil der Gewebe an der Gesamt-⁶⁵Zn-Körperaktivität (= 100 %)

Versuchs- tag	Nummern der Tiere	Kopf- anhang	Haut	Rumpf- muskulatur	Extremitäten- muskulatur	Knochen
3.	101 102	1,2	9,5	3,6	6,2	10,1
5.	103 104	4,7	6,4	5,7	12,1	10,9
7.	105 106	2,3	4,1	4,3	9,9	10,9
9.	107 108	3,0	5,3	8,5	11,7	12,2
10.	109 110	2,7 5,7	6,0 5,9	9,5 9,5	14,4 17,6	14,6 13,5
11.	111 112	2,8 1,6	6,9 6,7	16,9 9,0	15,3 13,3	14,8 11,7
14.	113 114	2,5 3,2	6,5 8,1	11,3 11,3	20,3 19,7	12,3 12,9
17.	115 116	2,5	6,6	10,8	23,5	11,8
25.	117 118	2,2	7,8	11,0	26,7	19,8
42.	119 120	1,3	7,3	12,8	30,7	23,9
73.	121 122	1,1 0,9	7,0 7,5	20,4 13,6	25,3 27,6	30,2 24,4

T A B E L L E 26

H e n n e n :

Prozentualer Anteil der Organe an der Gesamt-⁶⁵Zn-Körperaktivität (= 100 %)

Versuchs- tag	Nummern der Tiere	Magen	Darm	Blut	Leber	Herz	Lunge
3.	221 222						
5.	201 202						
7.	203 204	4,0	12,6	2,7	26,6	2,6	2,7
9.	205 206	6,1 4,0	10,9 10,9	4,4 2,7	26,6 20,8	1,2 1,3	1,0 0,8
10.	207 208	4,8	4,7	2,7	20,3	2,0	1,3
11.	209 210	5,3	4,5	2,4	10,5	2,1	1,1
14.	211 212	4,7 5,2	2,4 3,2	2,5 3,4	9,7 9,8	1,1 1,6	0,8 0,8
17.	213 214	3,8 6,8	2,6 3,2	2,6 1,8	9,5 9,7	1,4 1,9	0,6 1,0
25.	215 216	6,1 6,4	2,8 2,9	2,0 1,8	6,6 12,0	1,2 1,2	0,4 1,0
42.	217 218	5,3	1,9	1,5	8,5	0,9	0,4
73.	219 220	2,6 2,7	0,3 0,1	0,8 0,7	3,1 4,9	0,8 1,0	0,1 0,1

T A B E L L E 27

H e n n e n :

Prozentualer Anteil der Organe an der Gesamt-⁶⁵Zn-Körperaktivität (= 100 %)

Versuchs- tag	Nummern der Tiere	Milz	Nieren	Pankreas	Geschlechts- organe
3.	221 222				
5.	201 202				
7.	203 204	0,8	3,8	1,1	6,7
9.	205 206	0,9 0,7	5,5 4,6	1,3 1,3	8,4 3,9
10.	207 208	0,7	4,7	1,7	5,6
11.	209 210	0,6	3,3	0,7	7,2
14.	211 212	0,4 0,3	2,5 2,7	0,8 0,8	4,0 8,8
17.	213 214	0,4 0,3	2,1 2,0	0,8 0,8	3,6 4,4
25.	215 216	0,5 0,3	2,8 1,4	1,4 0,7	1,6 3,3
42.	217 218	0,3	1,5	0,4	1,7
73.	219 220	0,7 0,9	1,6 1,3	0,4 0,2	0,1 0,1

T A B E L L E 28

H e n n e n :

Prozentualer Anteil der Gewebe an der Gesamt-⁶⁵Zn-Körperaktivität (= 100 %)

Versuchs- tag	Nummern der Tiere	Kopf- anhang	Haut	Rumpf- muskulatur	Extremitäten- muskulatur	Knochen
3.	221 222					
5.	201 202					
7.	203 204	1,0	2,8	6,1	7,4	18,3
9.	205 206	3,3 0,4	4,6 2,8	8,0 6,9	10,3 7,6	6,6 31,2
10.	207 208	0,6	3,8	7,6	8,6	30,0
11.	209 210	0,6	4,1	11,2	13,6	32,2
14.	211 212	0,4 0,5	4,0 3,5	9,1 7,0	16,8 13,9	40,0 38,1
17.	213 214	0,3 0,4	2,1 3,3	6,6 11,9	14,9 18,7	47,9 33,2
25.	215 216	0,5 0,7	6,8 3,6	12,4 7,8	22,8 22,7	31,3 33,3
42.	217 218	0,2	5,6	23,7	18,7	28,5
73.	219 220	0,2 0,1	3,9 4,9	15,3 17,2	34,6 38,0	34,8 27,6

T A B E L L E 29

H ä h n e :

Prozentualer Anteil der Organe und der Gewebe an der
Gesamt-⁶⁵Zn-Körperaktivität (= 100 %)

Versuchstag	Nummern der Tiere	Organe	Gewebe
3.	101 102	69,2	30,8
5.	103 104	60,1	39,9
7.	105 106	68,2	31,8
9.	107 108	59,0	41,0
10.	109 110	52,4 47,8	47,6 52,2
11.	111 112	43,0 57,3	57,0 42,7
14.	113 114	46,7 44,6	53,3 55,4
17.	115 116	44,6	55,4
25.	117 118	32,1	67,9
42.	119 120	23,7	76,3
73.	121 122	15,6 25,8	84,4 74,2

T A B E L L E 30

H e n n e n :

Prozentualer Anteil der Organe und der Gewebe an der
Gesamt-⁶⁵Zn-Körperaktivität (= 100 %)

Versuchstag	Nummern der Tiere	Organe	Gewebe
3.	221 222		
5.	201 202		
7.	203 204	64,1	35,9
9.	205 206	66,9 50,8	33,1 49,2
10.	207 208	48,9	51,1
11.	209 210	38,1	61,9
14.	211 212	29,3 36,7	70,7 63,3
17.	213 214	27,9 32,3	72,1 67,7
25.	215 216	25,8 31,6	74,2 68,4
42.	217 218	23,0	77,0
73.	219 220	10,9 12,0	99,1 88,0

% der verabreichten
Dosis ^{65}Zn

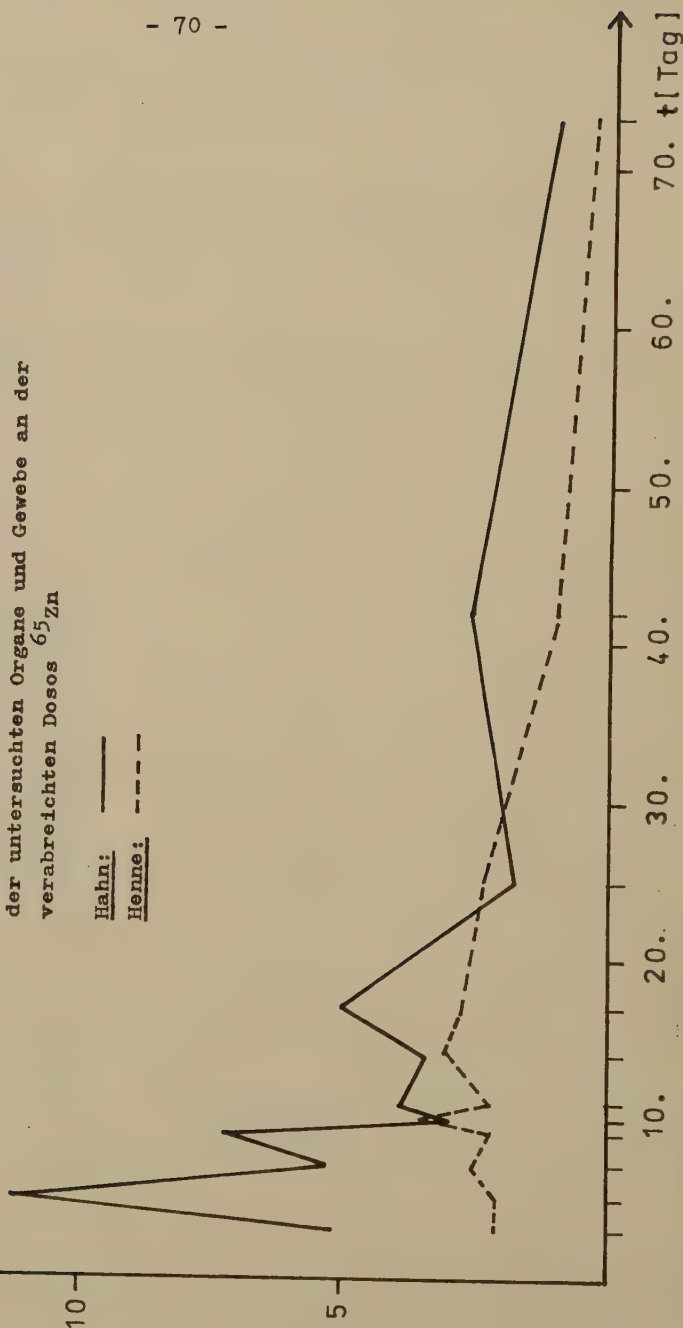
Abb. 4:

H ä h n e und H e n n e n :

Summe der prozentualen Anteile der ^{65}Zn -Aktivitäten
der untersuchten Organe und Gewebe an der
verabreichten Dosis ^{65}Zn

Hahn: —

Henne: - - -



$^{65}\text{Zn}/\text{g}$ Frischgewicht

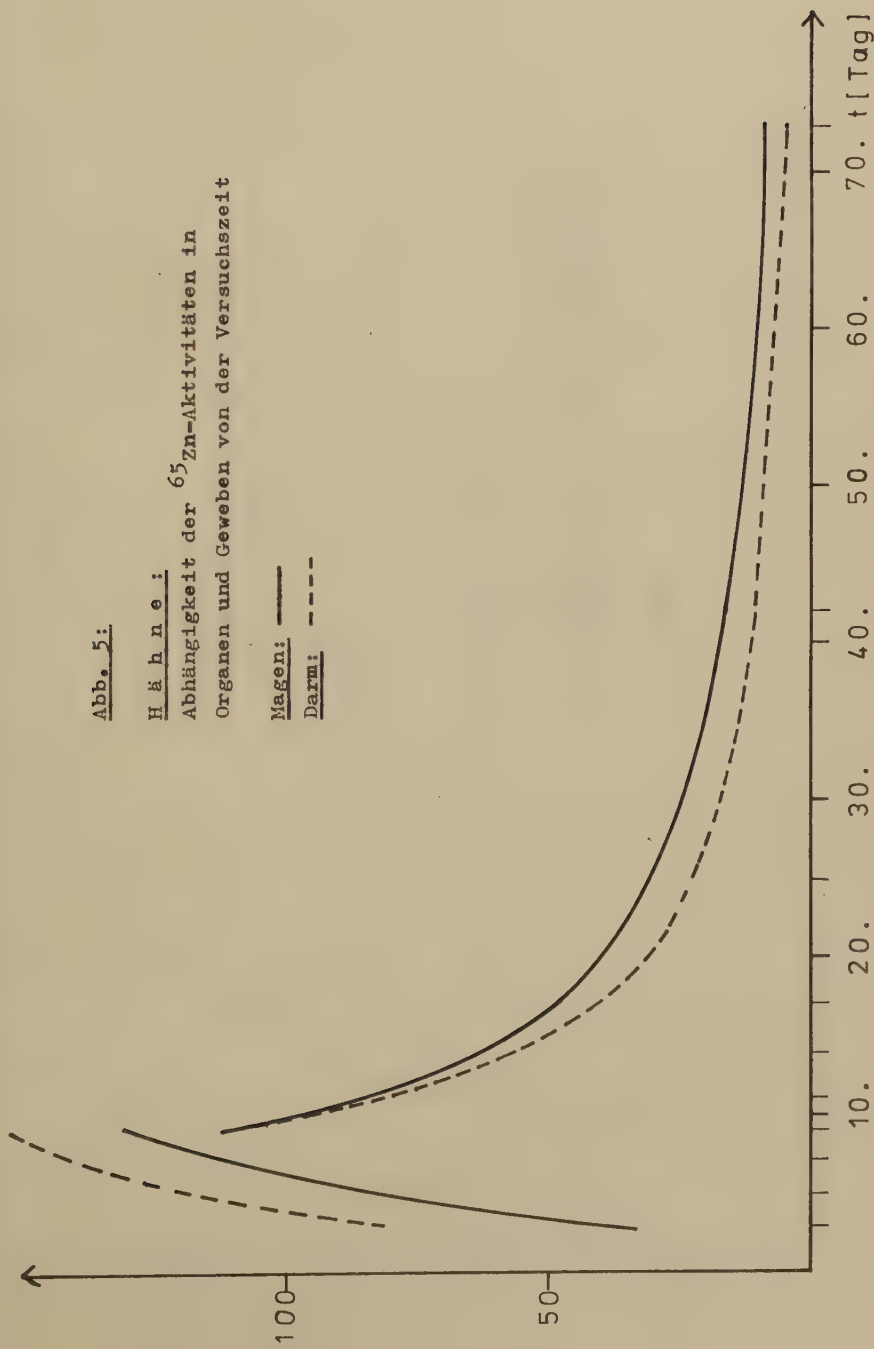
Abb. 5:

H ä h n e :

Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivitäten in
Organen und Geweben von der Versuchszeit

Magen: ———

Darm: - - - -



pCi ^{65}Zn /g Frischgewicht

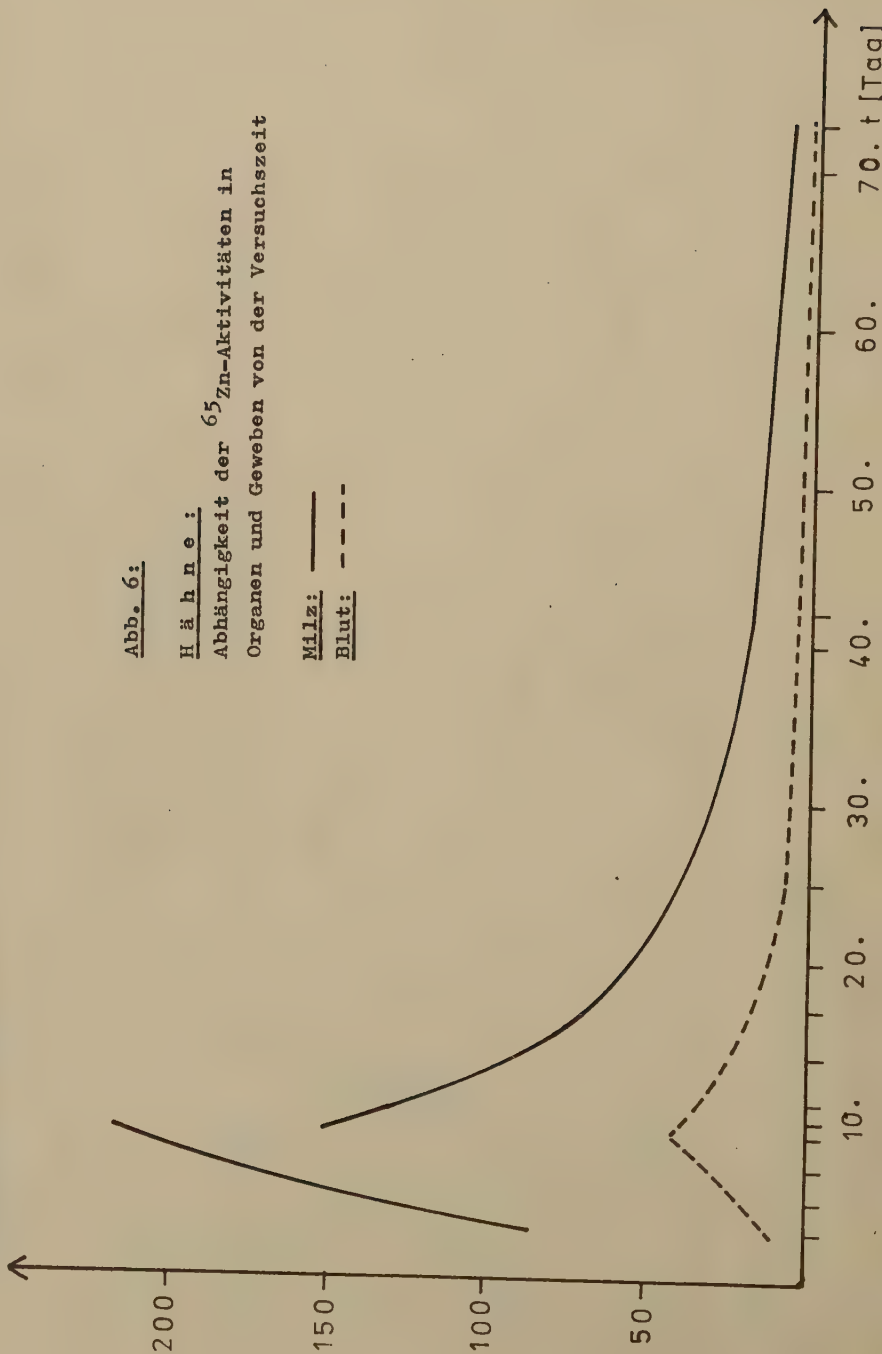


Abb. 6:

H ä h n e :

Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivitäten in
Organen und Geweben von der Versuchszeit

Milz: —

Blut: - - -

pci $^{65}\text{Zn/g}$ Frischgewicht

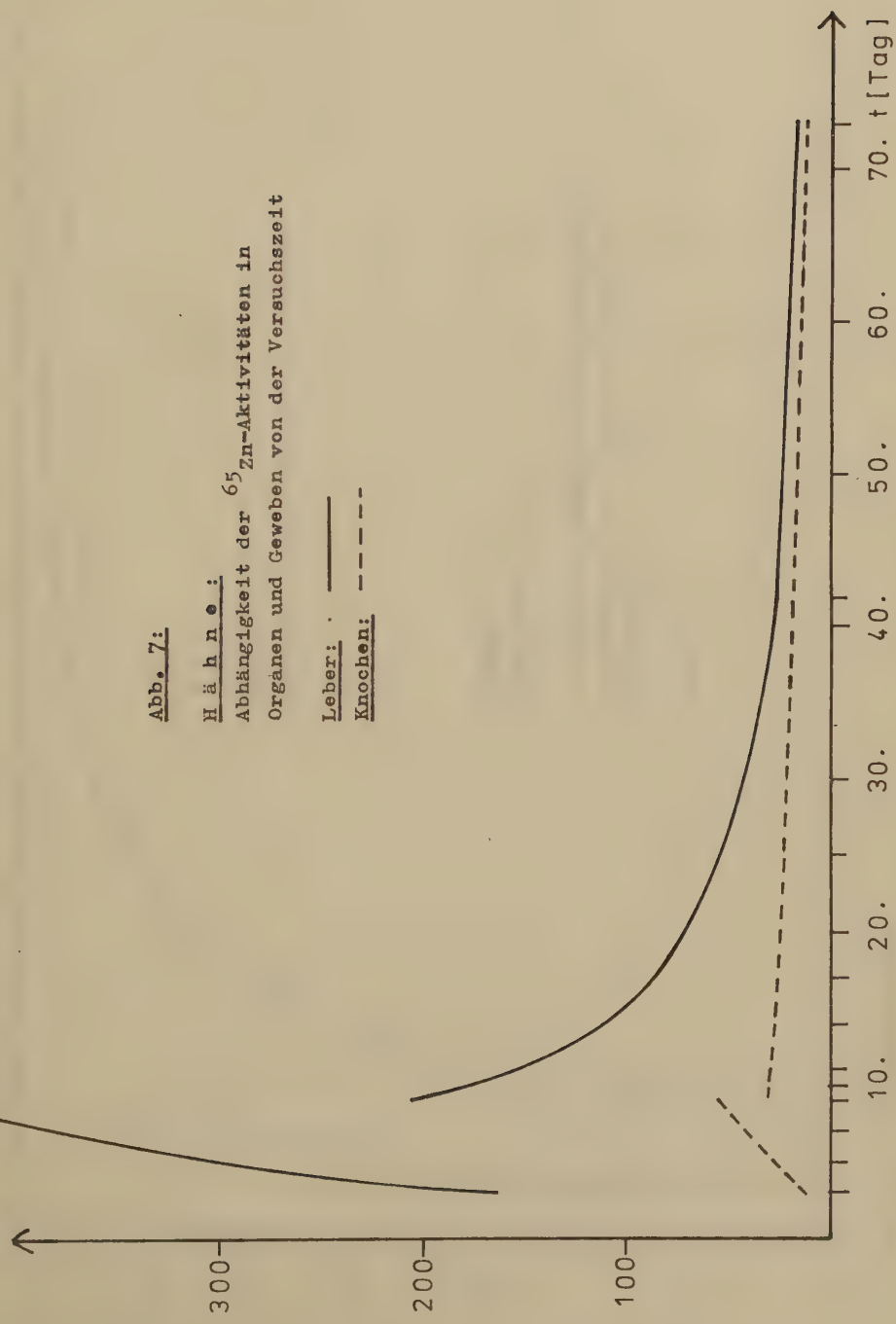
Abb. 7:

H ä h n e:

Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivitäten in
Organen und Geweben von der Versuchszeit

Leber: —————

Knochen: - - - - -



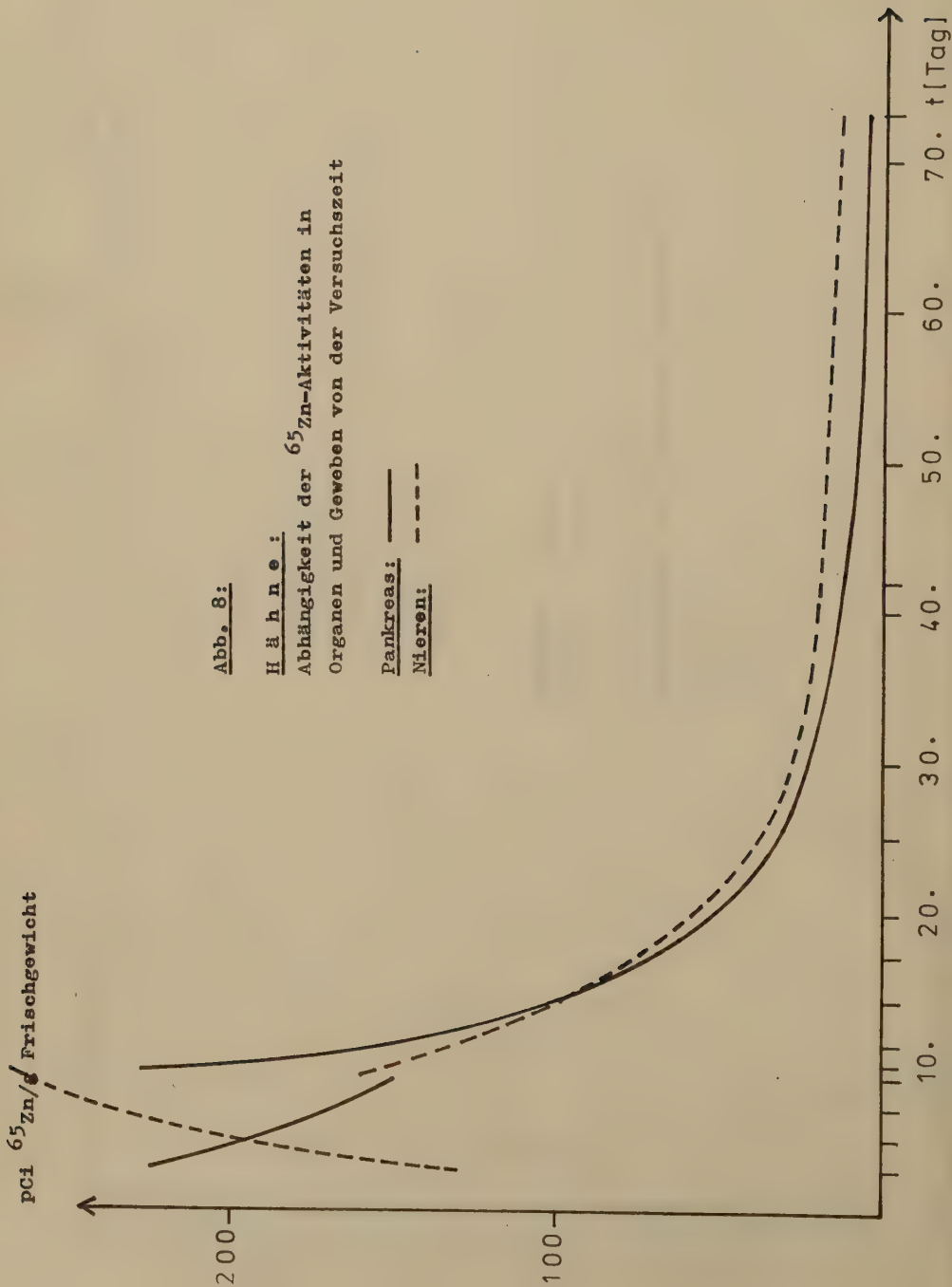
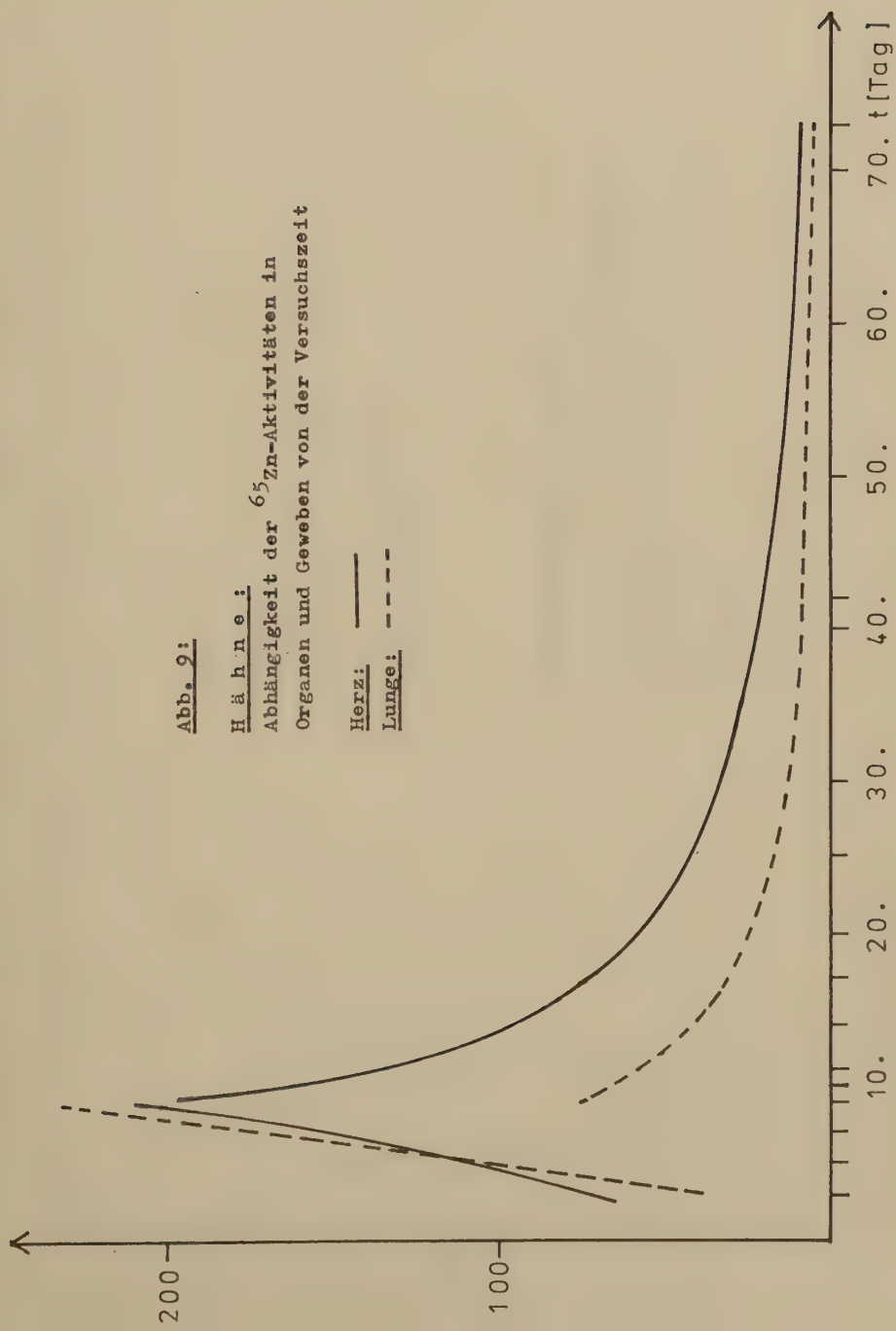


Abb. 9:

H ä h n e :
 Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivitäten in
 Organen und Geweben von der Versuchszeit

Herz: —
Lunge: - - -



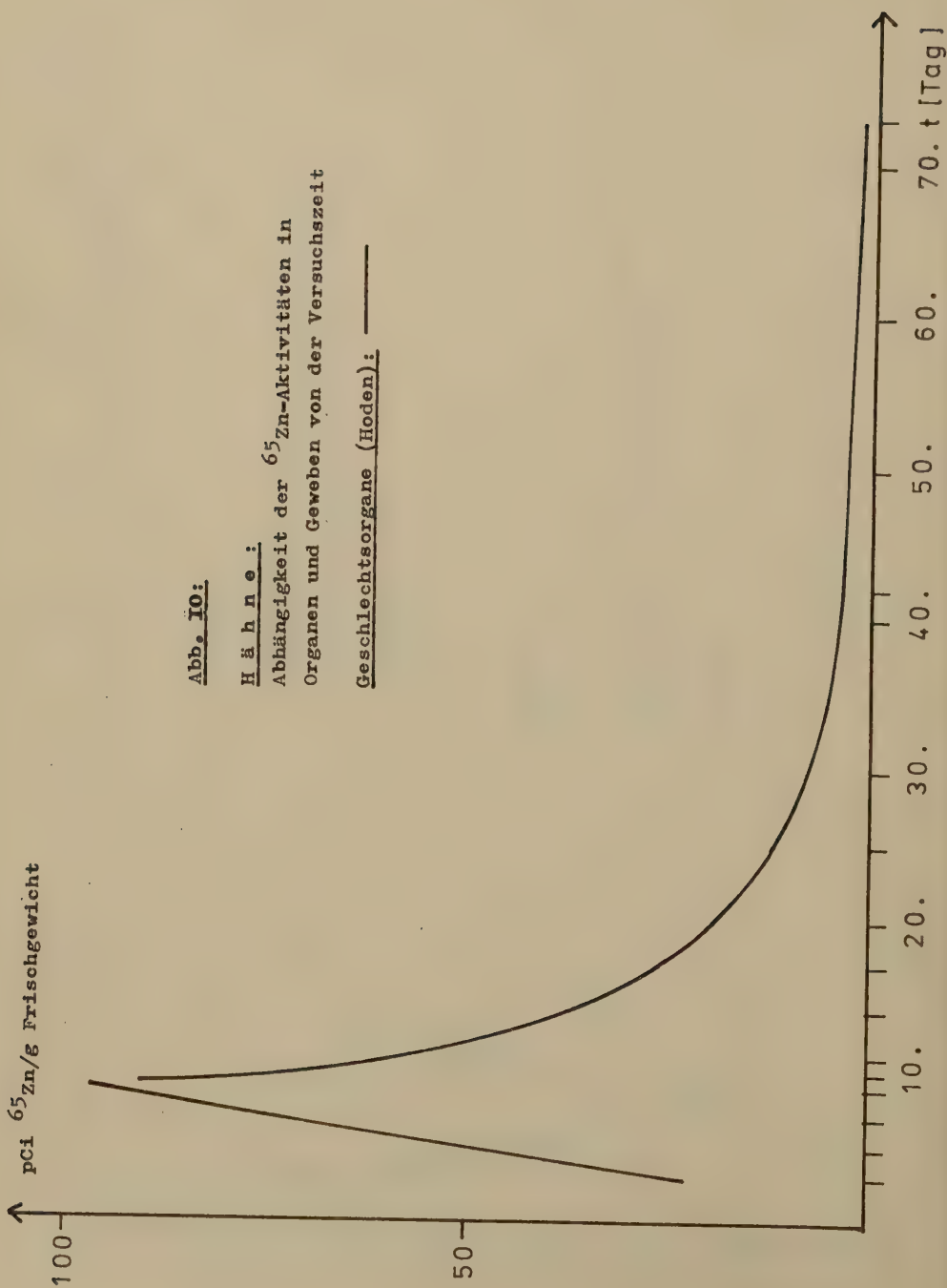
pCi ^{65}Zn /g Frischgewicht

Abb. 10:

H ä h n e :

Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivitäten in
Organen und Geweben von der Versuchszeit

Geschlechtsorgane (Hoden): ———



pci $^{65}\text{Zn}/\text{g}$ Frischgewicht

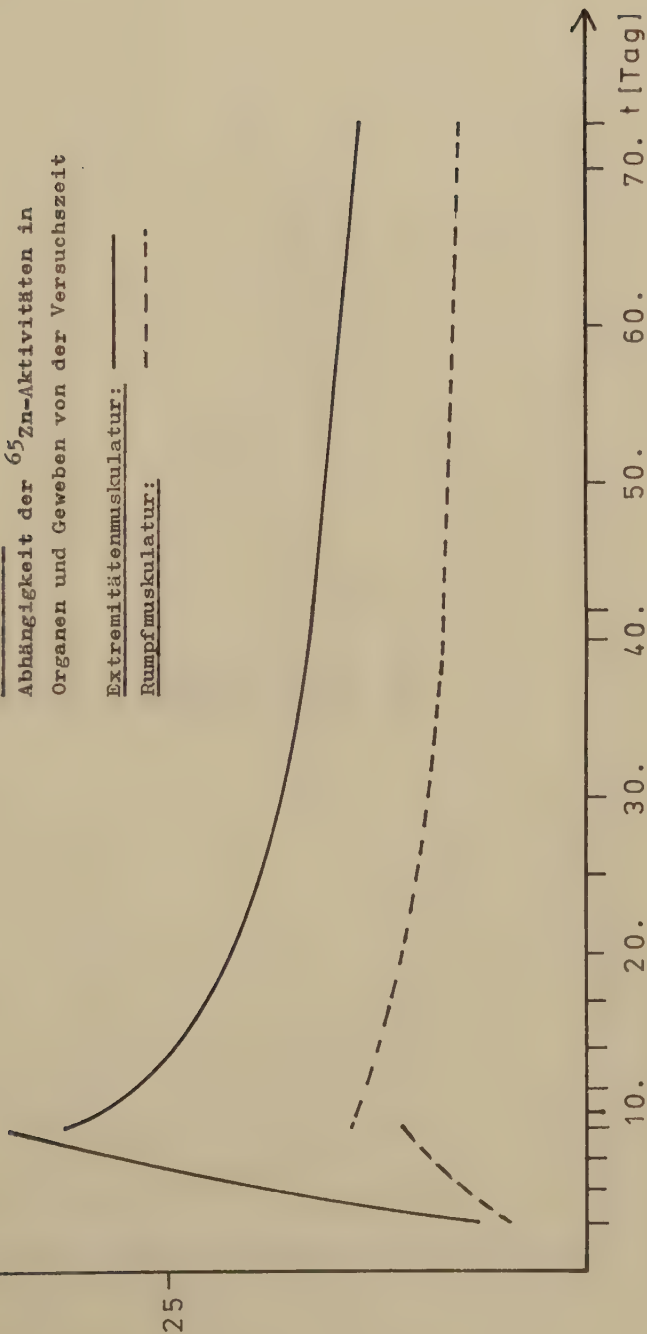
Abb. 11:

H ä h n e :

Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivitäten in
Organen und Geweben von der Versuchszeit

Extremitätenmuskulatur: ———

Rumpfmuskulatur: - - - - -



pCi ^{65}Zn /g Frischgewicht

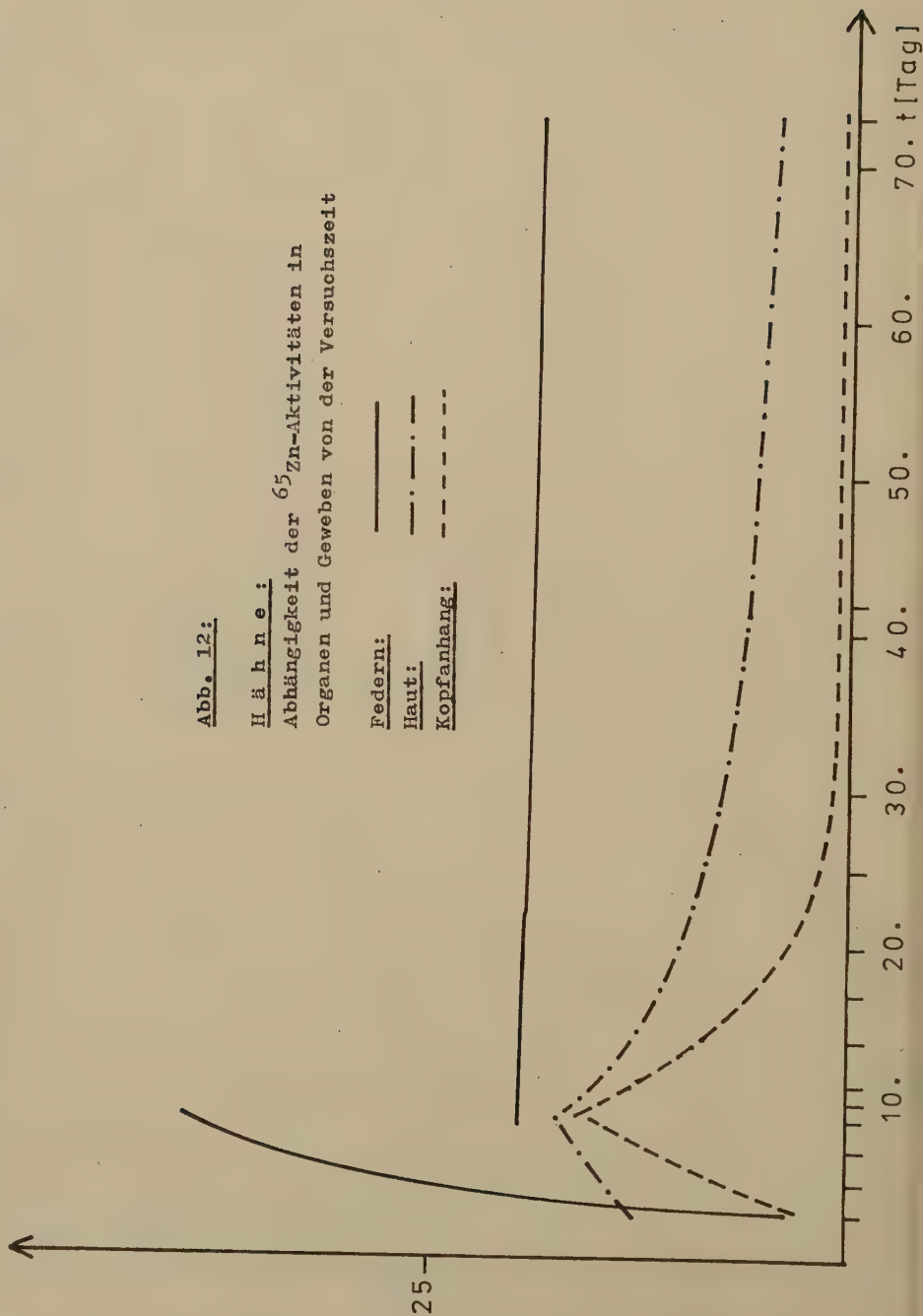


Abb. 12:

H ä h n e :
 Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivitäten in
 Organen und Geweben von der Versuchszeit

Federn:

Haut:

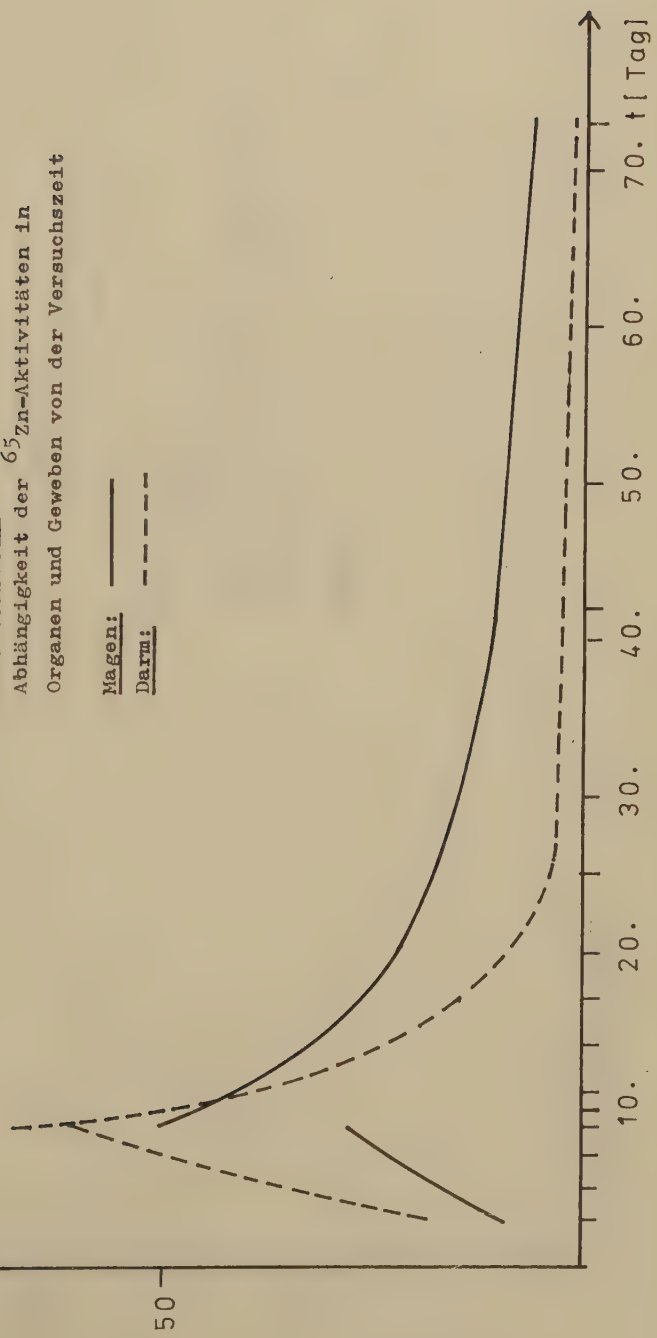
Kopfanhang:

pci ^{65}Zn /g Frischgewicht

Abb. 13:

Nennen:
Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivitäten in
Organen und Geweben von der Versuchszeit

Magen: ———
Darm: - - - - -



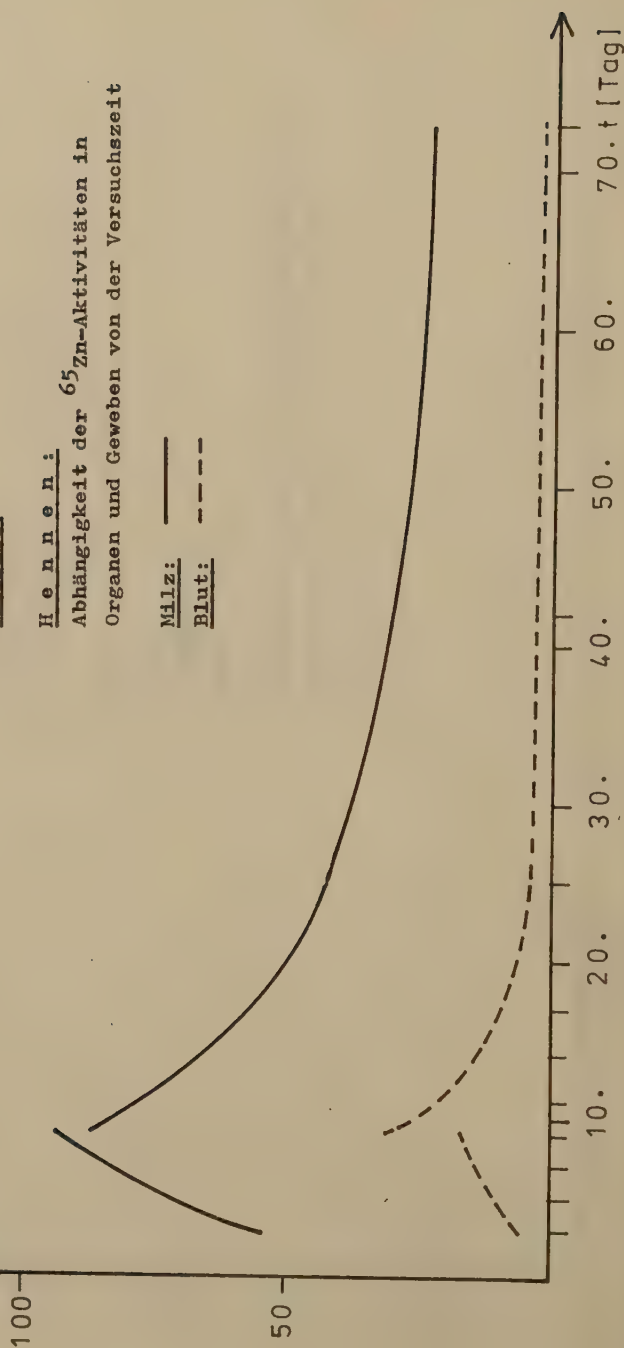
pci ^{65}Zn /g Frischgewicht

Abb. 14:

H e n n e n : ^{65}Zn -Aktivitäten in
Organen und Geweben von der Versuchszeit

Milz: ———

Blut: - - - -



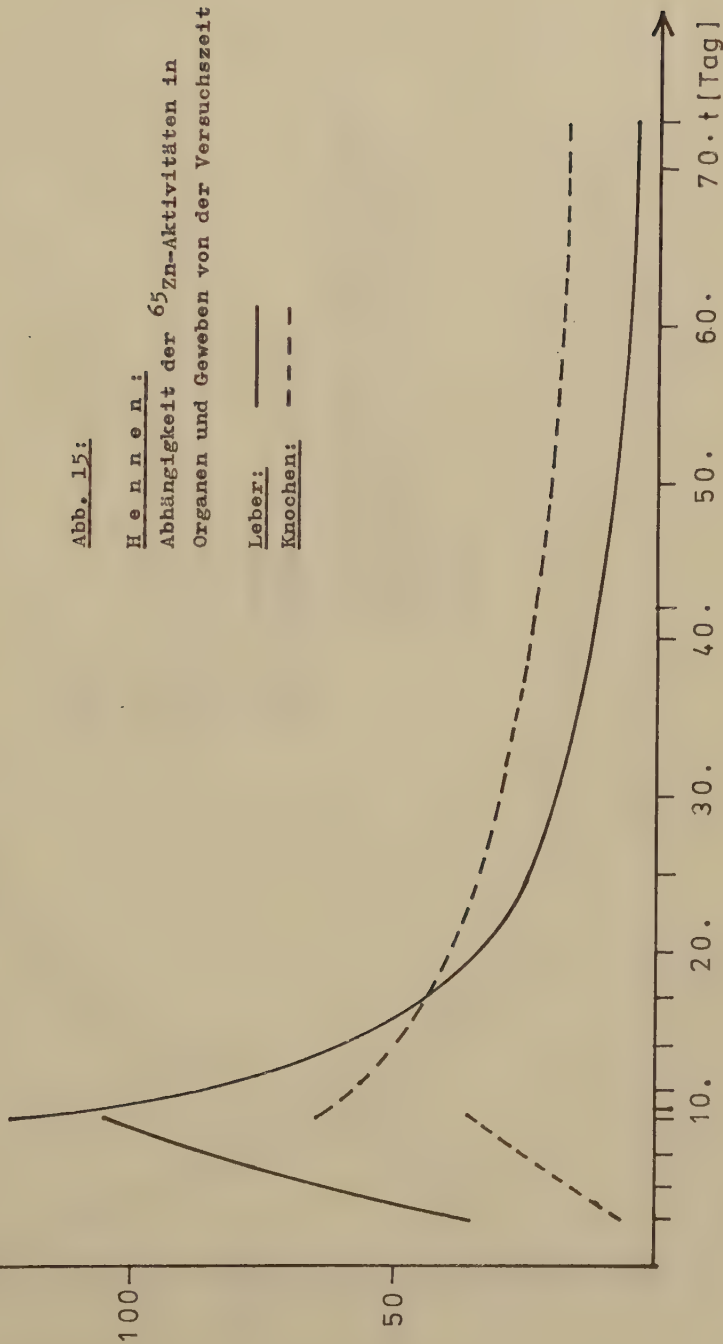
pci ^{65}Zn /g Frischgewicht

Abb. 15:

He n n e n:
Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivitäten in
Organen und Geweben von der Versuchszeit

Leber:

Knochen:



pCi ^{65}Zn /g Frischgewicht

Abb. 16:

Heißen:
Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivitäten in
Organen und Geweben von der Versuchszeit

Pankreas:

Nieren:

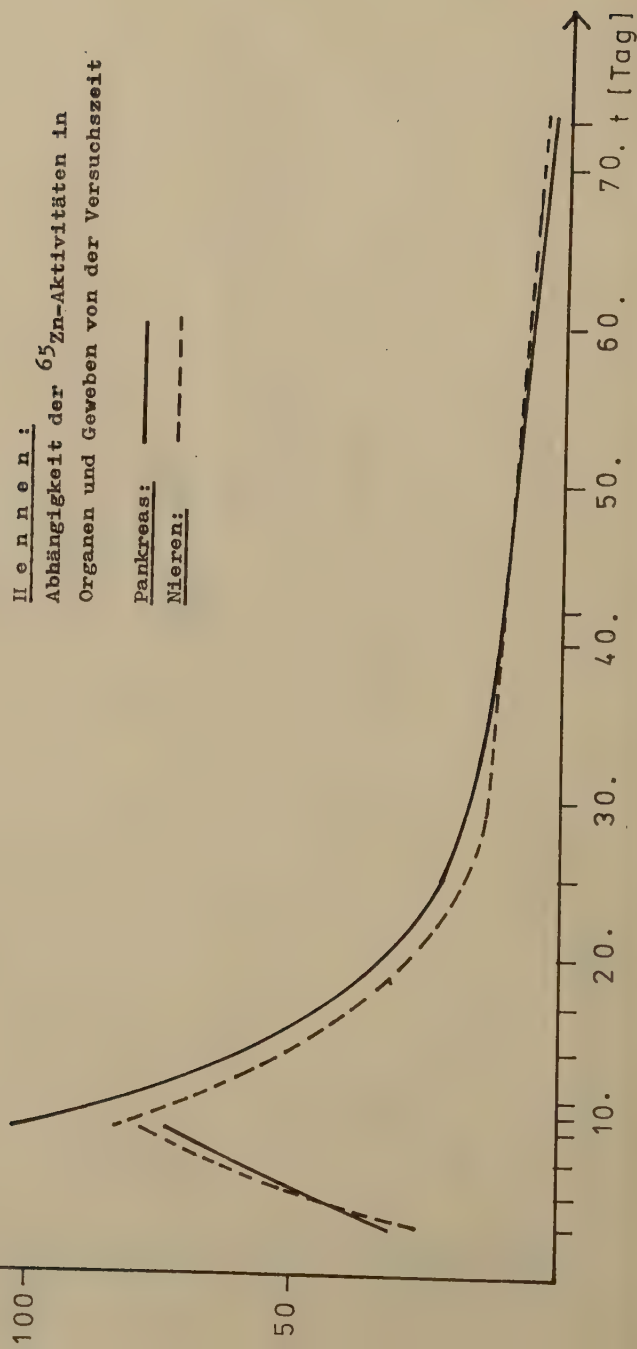
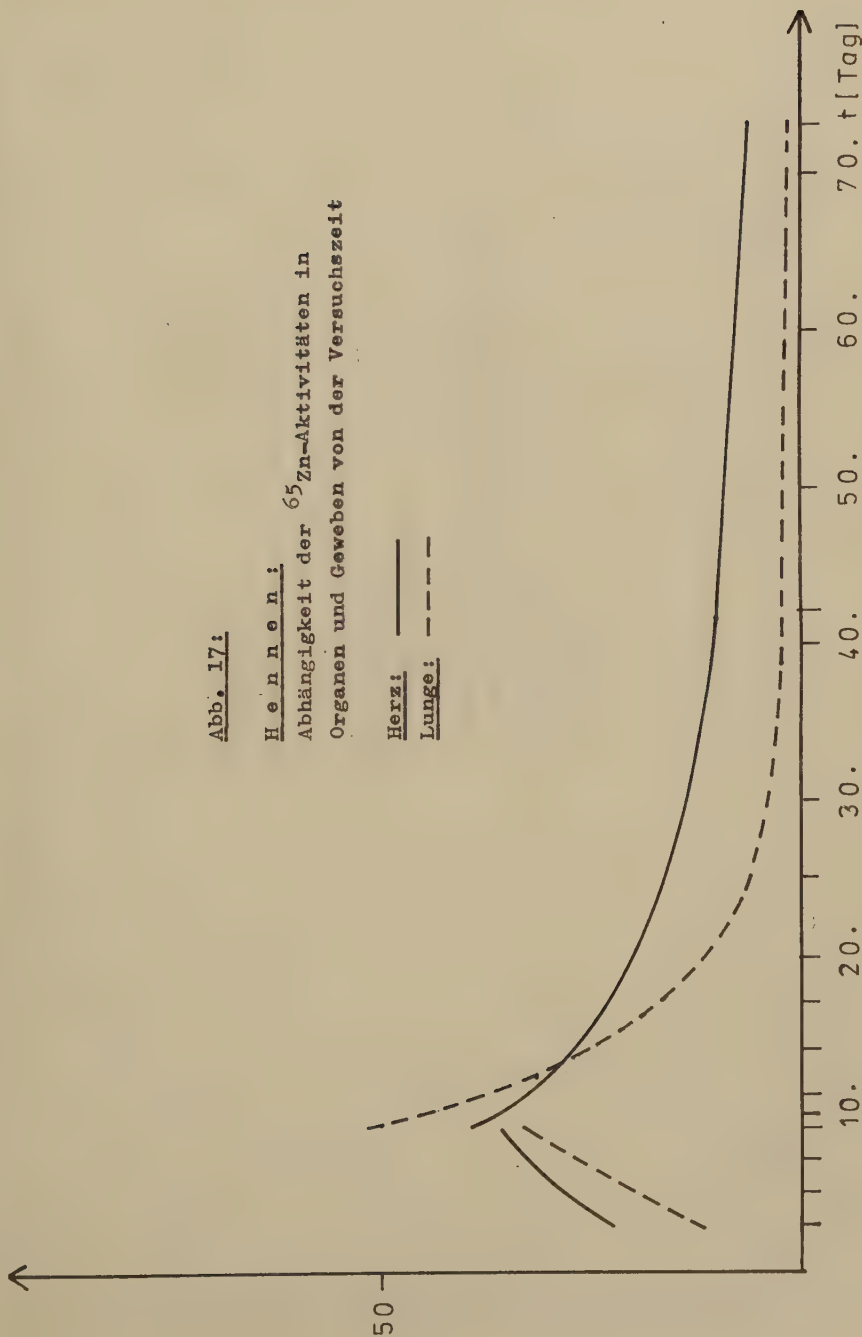


Abb. 17:

H e n n e n:
Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivitäten in
Organen und Geweben von der Versuchszeit

Herz: ———

Lunge: - - - -



pCi $^{65}\text{Zn}/\text{g}$ Frischgewicht

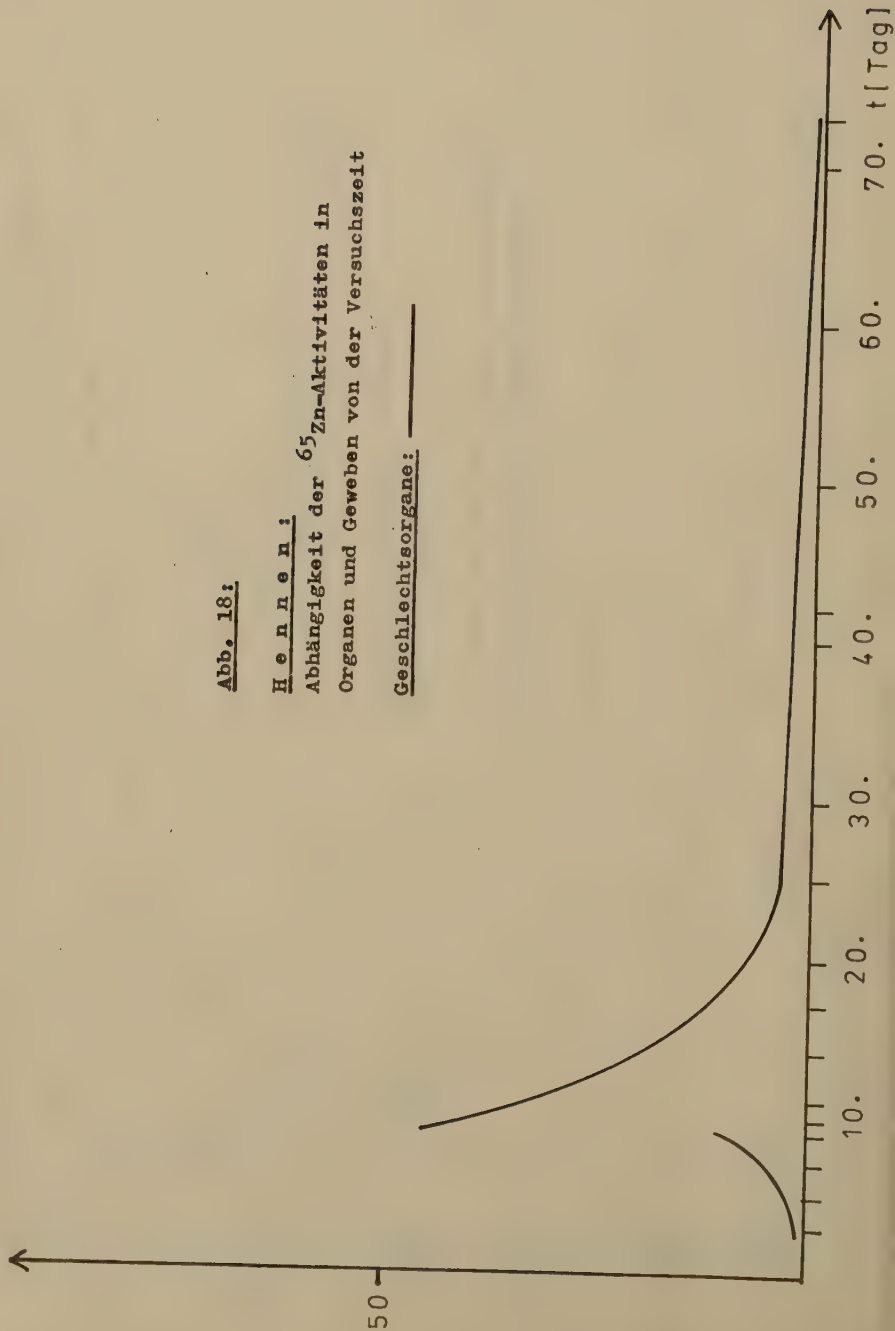


Abb. 18:

H e n n e n :
Abhängigkeit der ^{65}Zn -Aktivitäten in
Organen und Geweben von der Versuchszeit

Geschlechtsorgane: _____

Abb. 19:

H e n n e n: ^{65}Zn -Aktivitäten in
Abhängigkeit der
Organen und Geweben von der Versuchszeit

Extremitätenmuskulatur: —————

Rumpfmuskulatur: - - - - -

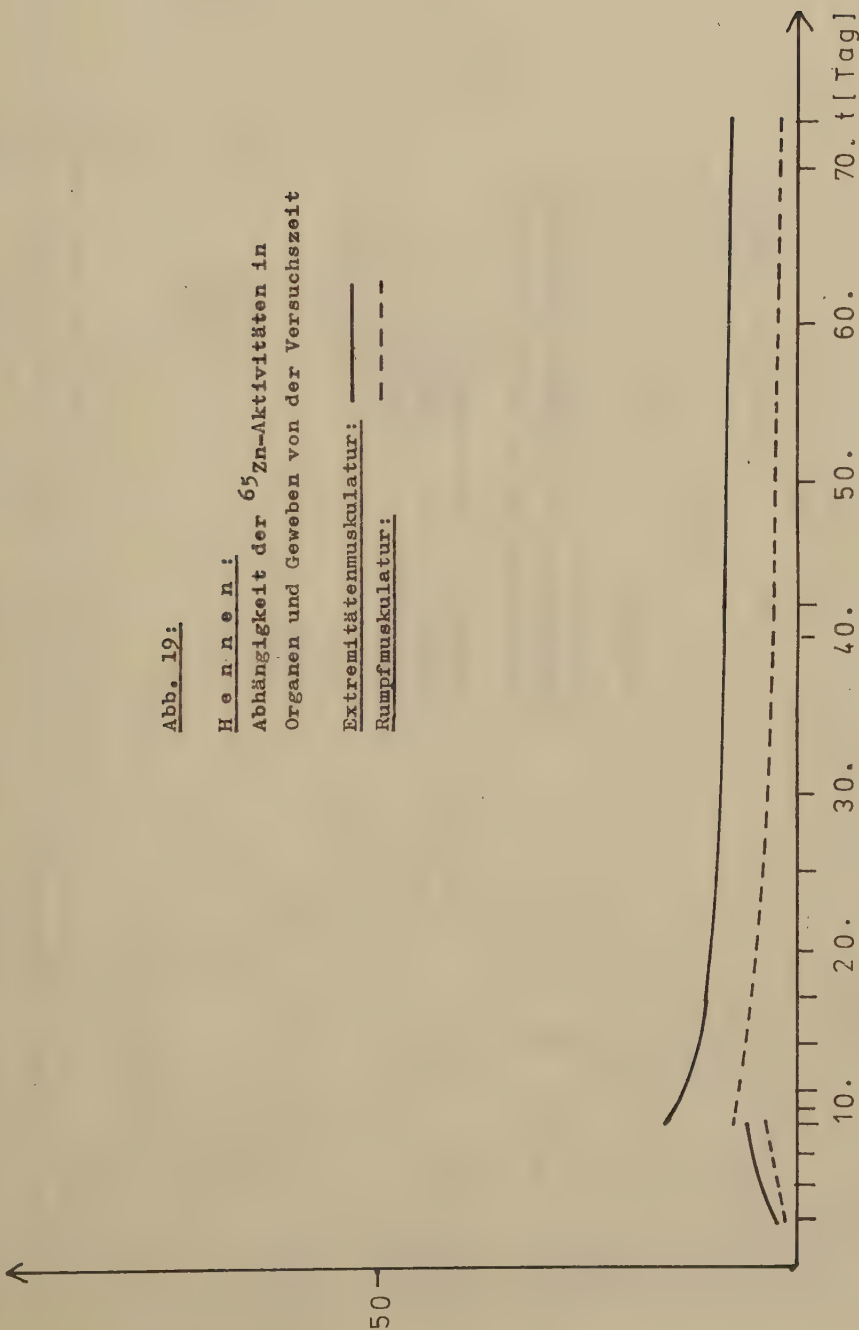
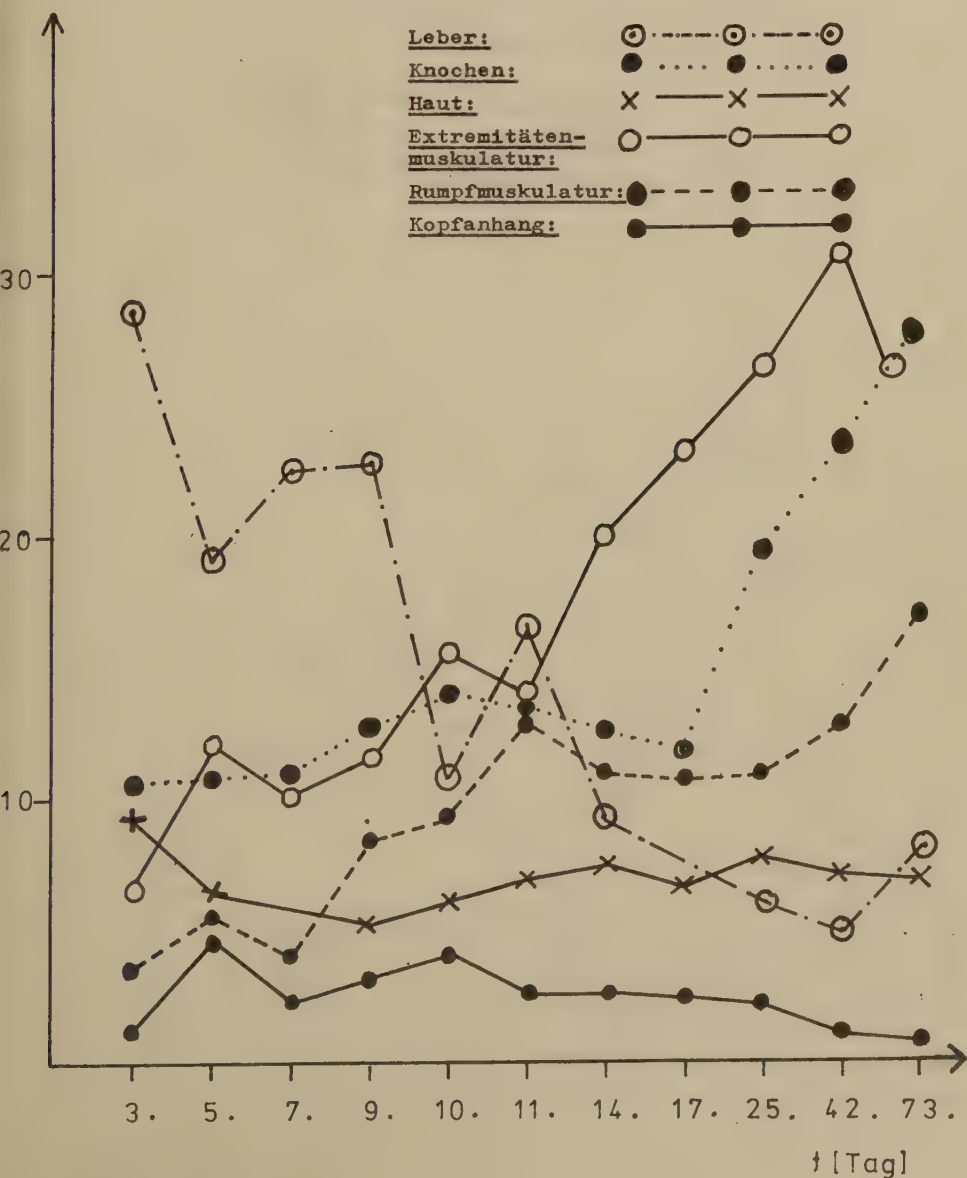


Abb. 21:

H ä h n e :

Prozentualer Anteil der einzelnen
Organe und Gewebe an der
Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität

% der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität

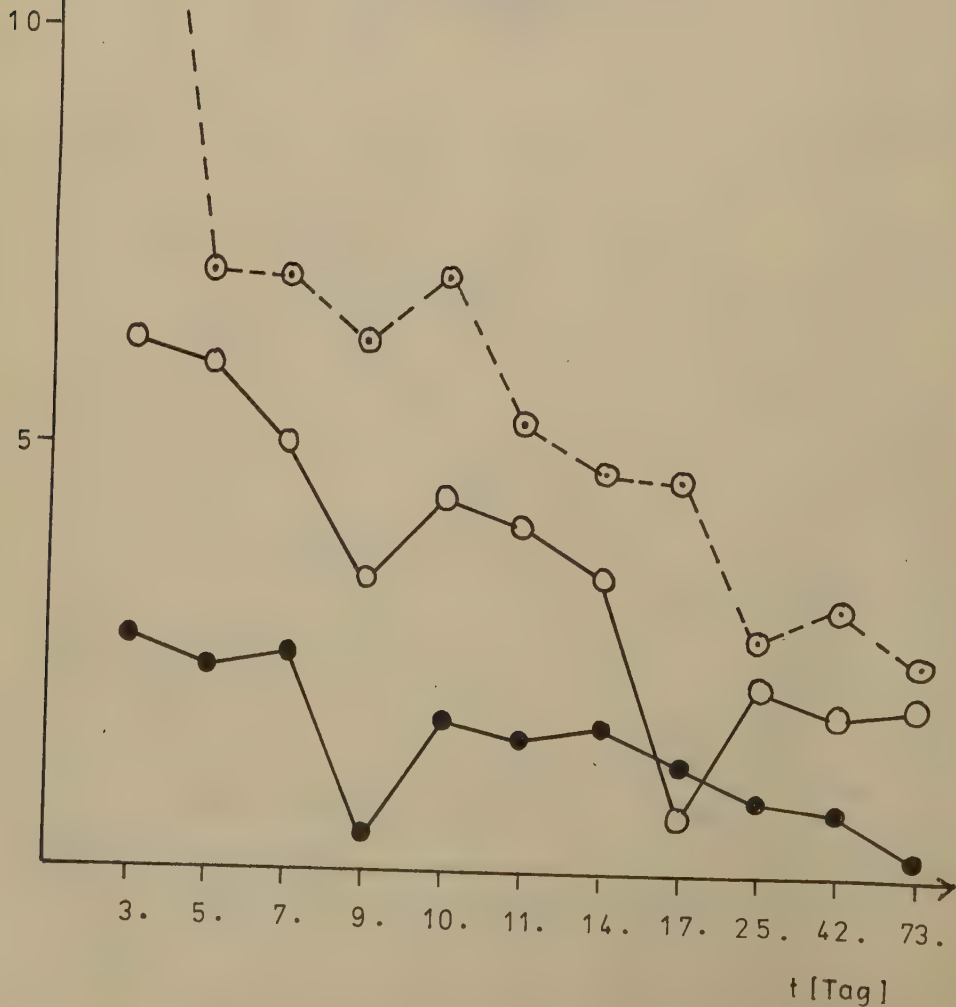


% der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität

Abb. 22: H ä h n e:

Prozentualer Anteil der
einzelnen Organe und Gewebe
an der Gesamt- ^{65}Zn -Körper-
aktivität

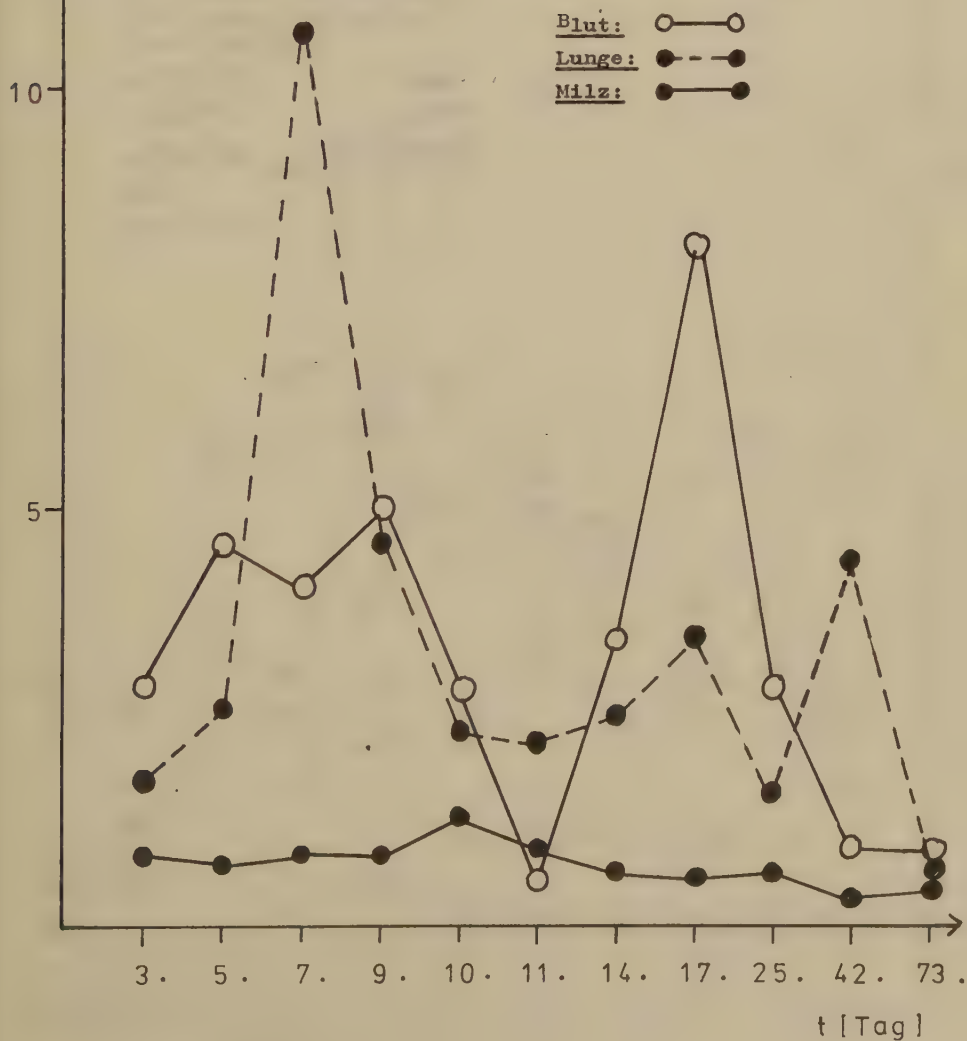
Darm: ○ - - - ○ - - - ○
Nieren: ○ - - - ○ - - - ○
Pankreas: ● - - - ● - - - ●

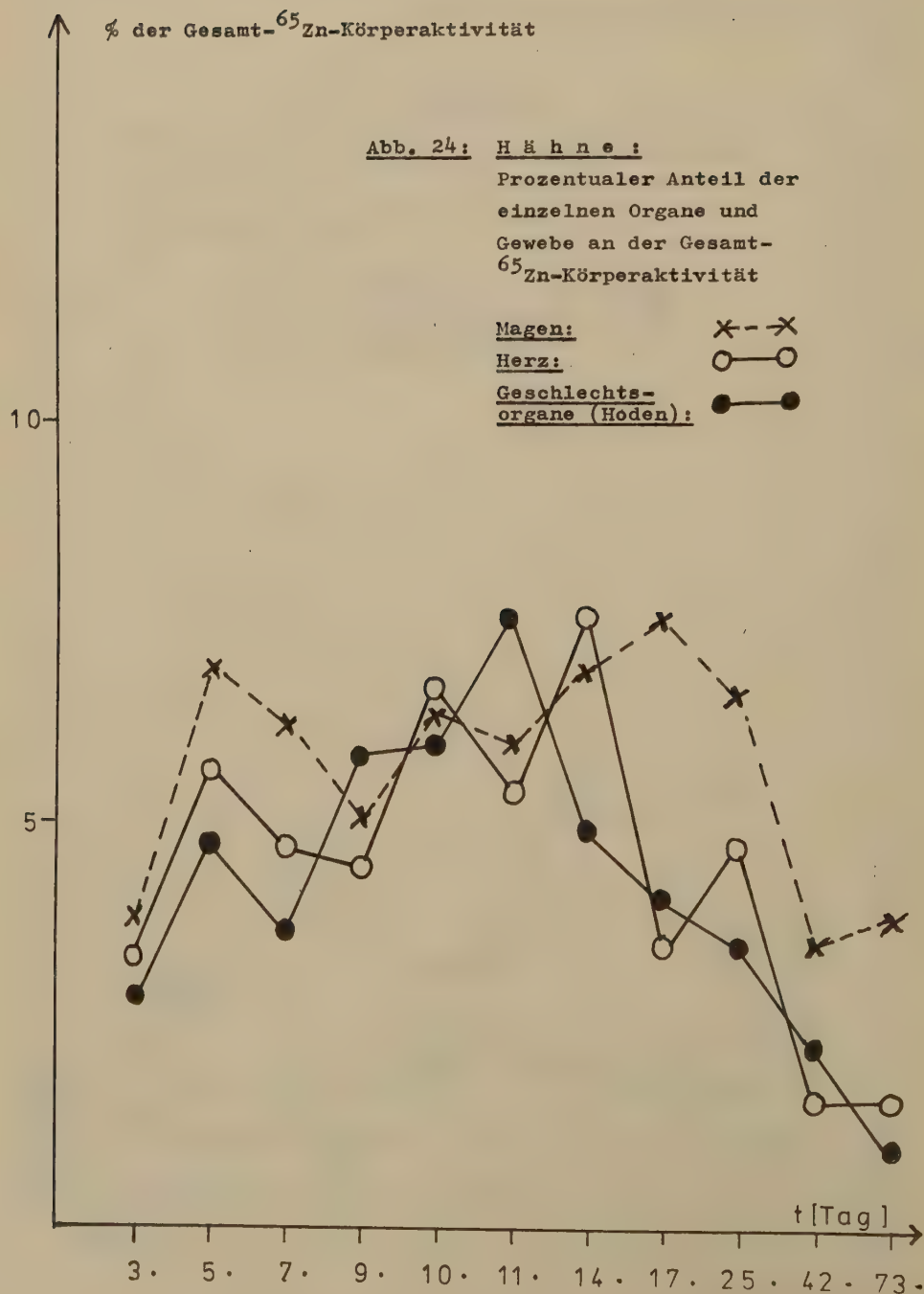


% der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität

Abb. 23: H ä h n e :

Prozentualer Anteil der
einzelnen Organe und
Gewebe an der Gesamt-
 ^{65}Zn -Körperaktivität



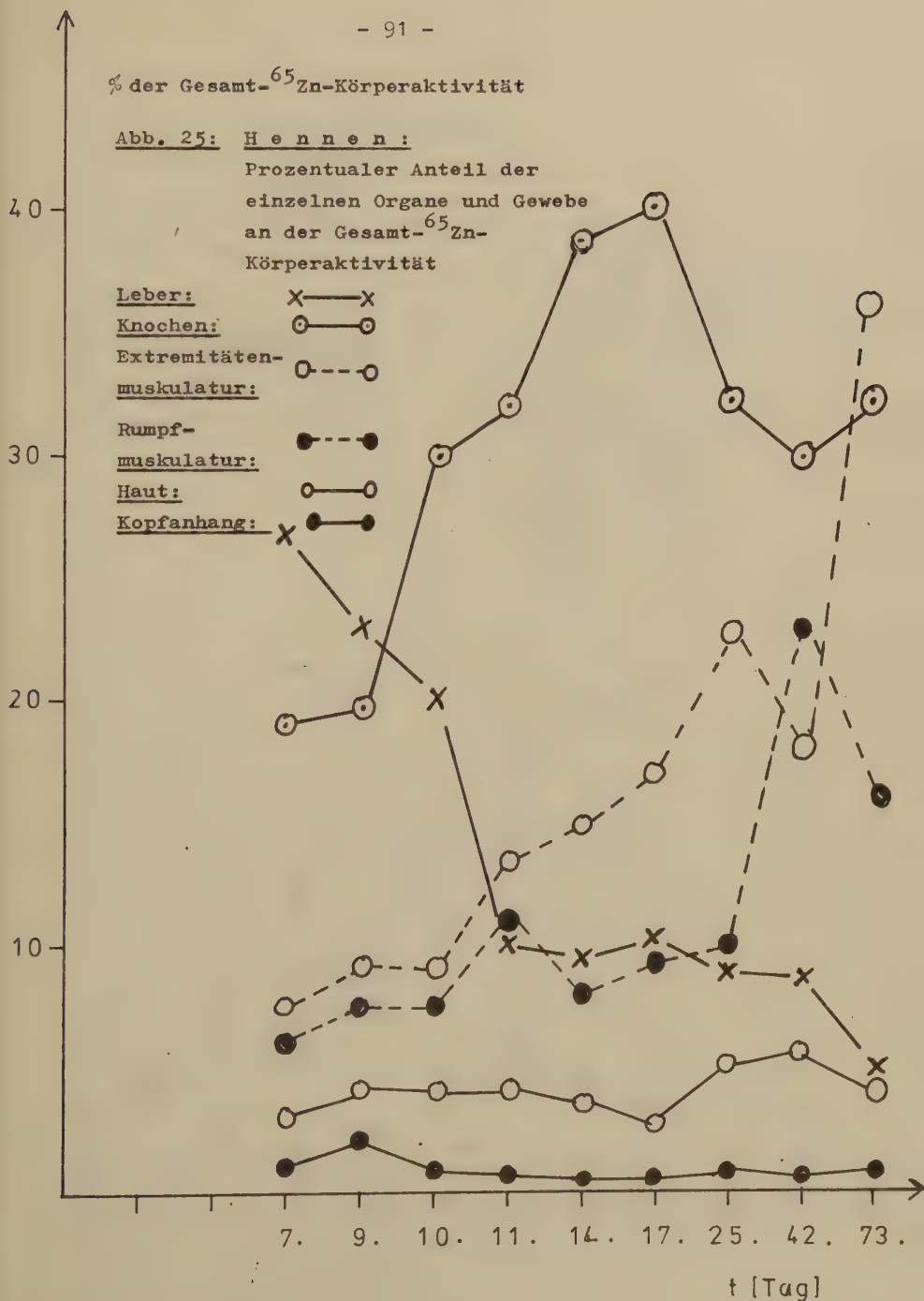


% der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität

Abb. 25: H e n n e n :

Prozentualer Anteil der
einzelnen Organe und Gewebe
an der Gesamt- ^{65}Zn -
Körperaktivität

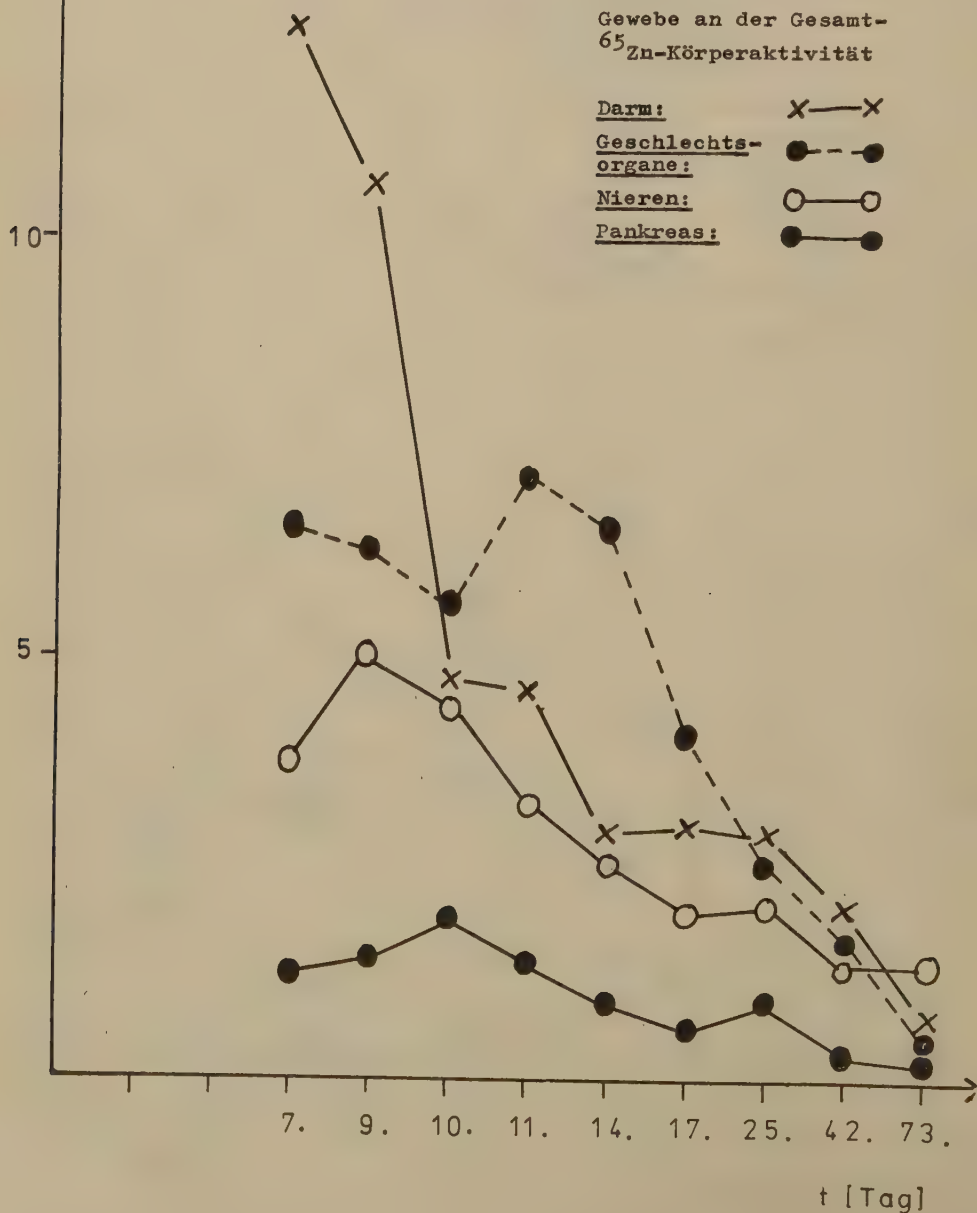
Leber: X—X
Knochen: ○—○
Extremitäten-
muskulatur: ○- -○
Rumpf-
muskulatur: ●- -●
Haut: ○—○
Kopfanhang: ●—●



% der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität

Abb. 26: H e n n e n :

Prozentualer Anteil der
einzelnen Organe und
Gewebe an der Gesamt-
 ^{65}Zn -Körperaktivität



% der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität

Abb. 27: H e n n e n :

Prozentualer Anteil der
einzelnen Organe und
Gewebe an der Gesamt- ^{65}Zn -
Körperaktivität

Magen: X—X

Blut: O—O

Herz: ●—●

Lunge: ○—○

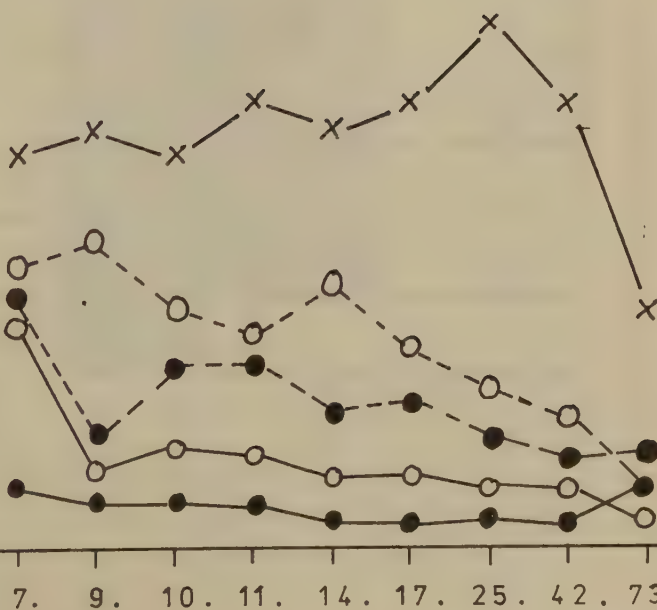
Milz: ●—●

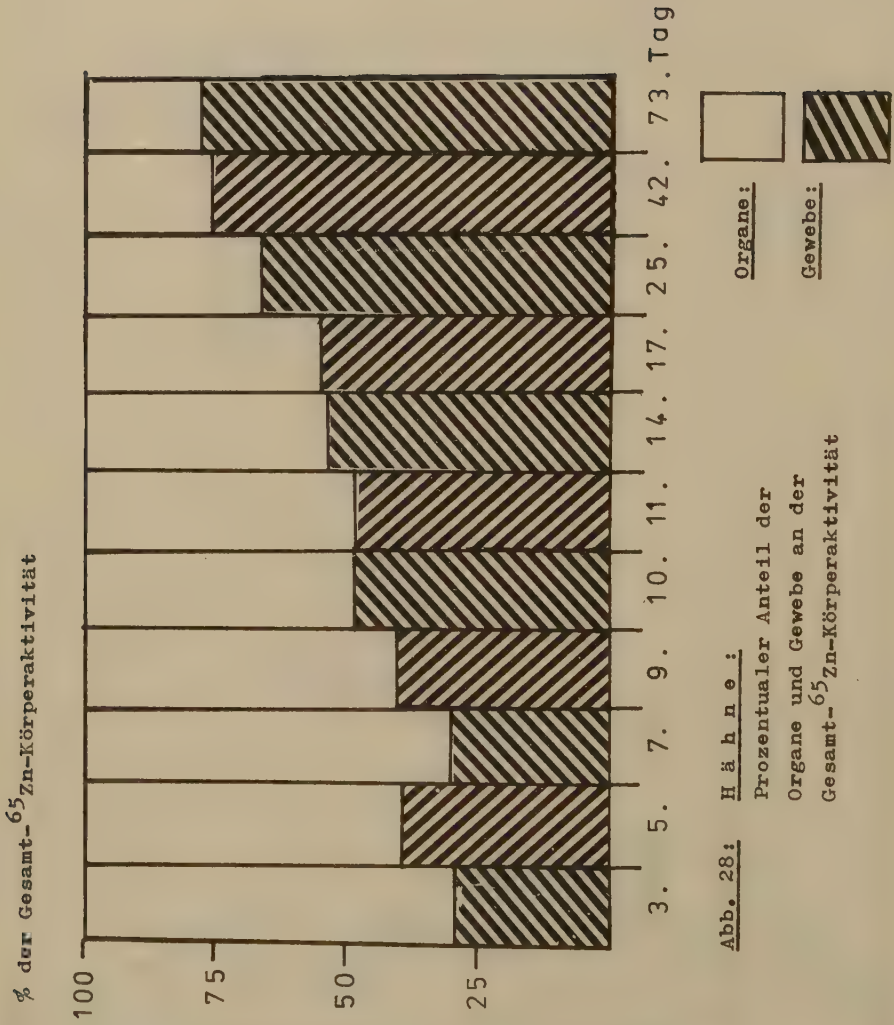
10

5

7. 9. 10. 11. 14. 17. 25. 42. 73.

t [Tag]





$\%$ der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität

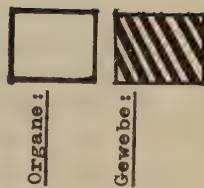
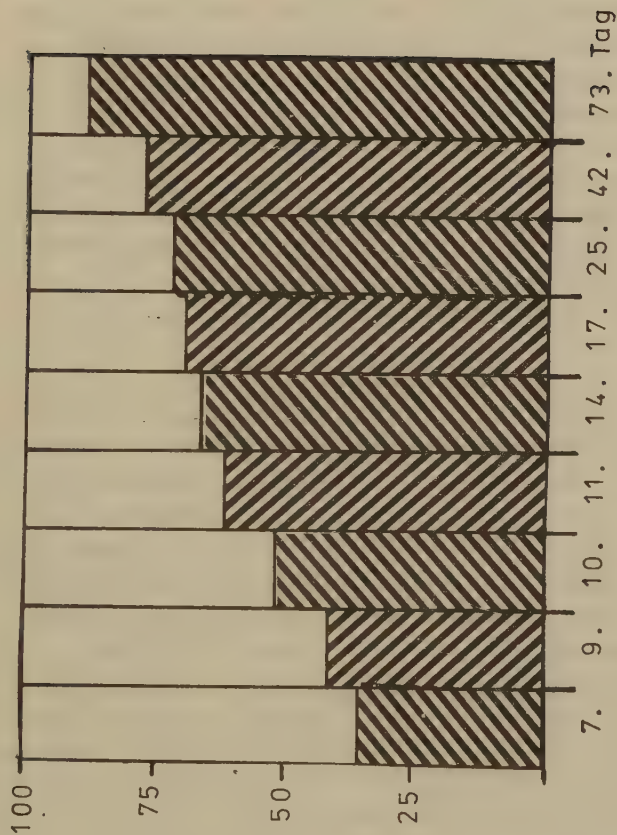


Abb. 29: H e n n e n :
 Prozentualer Anteil der
 Organe und Gewebe an der
 Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität

E. DISKUSSION

Die Resorptionsrate mehrmals oral verabreichten ^{65}Zn (5 x innerhalb 9 Tagen) betrug am 5. Versuchstag bei Hähnen 11 % und bei Hennen am 10. Versuchstag bis zu 4 % der insgesamt bis zur Tötung verabreichten ^{65}Zn -Dosis. In der Literatur war bei Geflügel nach Bilanzuntersuchungen über Resorptionsraten von 9 - 16 % berichtet worden (83, 17). In den eigenen Untersuchungen konnten bei Hähnen ähnliche Resorptionsraten ermittelt werden. Allerdings muß bei den in Bilanzuntersuchungen erhaltenen ^{65}Zn -Resorptionsraten bedacht werden, daß ein Teil des resorbierten ^{65}Zn von Pankreas und Galle wieder in den Darm sezerniert wird. Das allein dürfte aber nicht die bei verschiedenen Tierarten zum Teil stark differierenden Resorptionsraten erklären.

Bei der Transportfunktion des Blutes wären in diesem zumindest kurzfristig hohe ^{65}Zn -Aktivitäten zu erwarten gewesen. Diese Annahme bestätigt sich in den Untersuchungen nicht. In keinem Fall überschritt die ^{65}Zn -Konzentration im Blut beim Hahn 50 pCi/g Frischgewicht (Abb. 6) und bei der Henne 35 pCi/g Frischgewicht (Abb. 14). Es muß daraus gefolgert werden, daß ^{65}Zn nach seiner Resorption aus dem Blut sofort in die Organe bzw. Gewebe des Organismus weitergeleitet wird. SUSO et al. (86) geben zwar an, daß das ^{65}Zn im Blut erst nach 5 - 6 Tagen seine maximale Konzentration erreicht. Dies steht aber keineswegs in Widerspruch zu den eigenen Ergebnissen, da Blut als Vehikel für den ^{65}Zn -Transport vom Resorptionsort zu den Erfolgsorganen und Speicherorganen sowie von dort zu den Exkretionsorganen dient, d. h., daß der 128 Stunden p. applic. beobachtete Anstieg im Blut aus dem Zusammentreffen resorbierten mit bereits von Organen wieder abgegebenem ^{65}Zn resultieren könnte.

LEIBETSEDER (50) postuliert aufgrund seiner Untersuchungen an Schweinen verschiedene Zn-Pools, die über das Blut in ständigem Austausch miteinander stehen sollen.

Im Darm resorbiertes ^{65}Zn gelangt aus dem Blut vermutlich rasch in Leber und Pankreas. Beide zeichnen sich durch einen hohen Gehalt an zinkhaltigen Enzymen aus. Tatsächlich wies auch die Leber am 9. Versuchstag den höchsten ^{65}Zn -Gehalt aller untersuchten Organe und Gewebe auf, bei Hähnen 200 pCi/g Frischgewicht, bei Hennen 130 pCi/g Frischgewicht.

Die hohen prozentualen Anteile der Darmwand an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität innerhalb der ersten Tage des Versuchszeitraumes legen die Vermutung nahe, daß ^{65}Zn vor seinem Übertritt in die Blutbahn zunächst in den Zellen der Darmwand für gewisse Zeit verbleibt. Den eigenen Untersuchungen zufolge könnte das auch bei Hähnen und Hennen zutreffen. Im Darm von Hähnen konnte am 3., bei Hennen am 7. Versuchstag der höchste prozentuale Anteil an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität gefunden werden. Bei Hähnen war dann aber bis zum 5. und bei Hennen bis zum 10. Versuchstag ein wesentlich rascherer Abfall des prozentualen Anteils der Darmwand an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität als z. B. bei Pankreas und Nieren zu beobachten. Für den Rest der Versuchszeit nahmen in allen 3 Organen die prozentualen Anteile an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität gleichsinnig ab. Dieses Verhalten suggeriert eine Art "Schleusenfunktion" des Darmes für die intestinale ^{65}Zn -Resorption bei Hühnern. Bis zum 3. Tag bei Hähnen und bis zum 7. Tag bei Hennen kommt es gewissermaßen zu einer Anflutung des ^{65}Zn in der Darmwand, nach Öffnen der "Schleuse" jedoch zu einer raschen Ausschwemmung des ^{65}Zn in den Körper.

SAHAGIAN et al. (76, 77) vermuten aufgrund von in-vitro Untersuchungen als Ursache der "Schleusenwirkung", daß Metallionen vor einer transmuralen Abgabe in das Blut zuerst an intra- und extrazellulären Bindungsstellen der

Darmwand für gewisse Zeit fixiert werden.

SUSO et al. (86) geben bei 18 Wochen alten Junghühnern als $HWZ_{biol.}$ für ^{65}Zn 43,1 Tage, bei einer Streuung von $\pm 8,1$ Tagen, an. In den eigenen Untersuchungen war auf die Bestimmung einer $HWZ_{biol.}$ für den Organismus von Hahn und Henne verzichtet worden, weil die biologischen Halbwertszeiten verschiedener Organe eines Organismus zu starken Schwankungen unterliegen. SUSO et al. (86) hatten in ihren Untersuchungen jedoch keine $HWZ_{biol.}$ für einzelne Organe und Gewebe bestimmt. Der Versuch anhand der $HWZ_{biol.}$ in den untersuchten Geweben und Organen die $HWZ_{biol.}$ von Hahn und Henne abzuschätzen, führt unter Berücksichtigung der Streuung bei der von SUSO et al. ermittelten $HWZ_{biol.}$ in den eigenen Untersuchungen zu einer ähnlichen biologischen Halbwertszeit für den Organismus von Hahn und Henne, wie sie SUSO et al. für 18 Wochen alte Junghühner ermittelt hatten. Sie betrug $43,1 \pm 8,1$ Tage. Bei älteren Hühnern scheint sich demnach das Alter nicht mehr so wie bei Junghühnern auf die Länge der $HWZ_{biol.}$ auszuwirken.

Das ^{65}Zn -Verteilungsmuster im Organismus von Hahn und Henne legt die Annahme zweier Pools nahe. Der erste erfüllt eine Art Speicherfunktion, der zweite besteht aus Organen, die ^{65}Zn aus dem Blut schnell aufnehmen und auch wieder abgeben. Zum Speicherpool zählen beim Huhn auf Grund der eigenen Ergebnisse Knochen, Muskulatur, Haut und Federn, zum anderen - er wurde von SCHWIEGK et al. (81) als Pool der Zinkumsatzorgane bezeichnet - die inneren Organe, insbesondere Leber, Nieren, Pankreas und Magen-Darm Trakt.

Das Blut dient als Vehikelorgan beim Hahn offensichtlich augenfälliger als bei der Henne. SUSO et al. (86), SCHWIEGK (81) und LEIBTSEDER (50) folgern aufgrund ihrer Untersuchungen an Hühnern, Hunden und Schweinen ebenfalls das Vorhandensein von Pools.

Von KAUFMANN (40) fand bereits nach einmaliger Applikation von ^{65}Zn an Hähnen und Hennen ein ähnliches Verteilungsmuster, wie es nach mehrmaliger Verabreichung von ^{65}Zn in den eigenen Untersuchungen festgestellt worden war.

Der prozentuale Anteil des Speicherpools an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität stieg im Organismus der untersuchten Hähne und Hennen von 30 % auf ca. 80 % am Ende des Versuchs an. Der prozentuale Anteil des Pools der Zinkumsatzorgane nahm dementsprechend ab. Beide Pools enthielten am ca. 10. - 14. Versuchstag jeweils 50 % der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität.

Die ermittelten biologischen Halbwertszeiten in den Organen und Geweben der untersuchten Hähne und Hennen ergänzen diese Vorstellung von der Existenz eines Speicherpools und eines Pools für die Zinkumsatzorgane. Sie betrugen für Speichergewebe 16 - 70 Tage, für die Organe des ^{65}Zn -Umsatzes 3 - 16 Tage.

^{65}Zn -Aktivitäten gleicher Organe und Gewebe zum selben Zeitpunkt geschlachteter Tiere schwanken zum Teil nicht unerheblich. Als Grund dafür werden viele den Zn-Stoffwechsel im Organismus beeinflussende primär exogene Faktoren vermutet. PERSIGHEHL et al. (66) stellten z. B. fest, daß für den Zinkblutspiegel deshalb keine fixen Werte angegeben werden können. Es erscheint daher zweifelhaft, ob auch Untersuchungen an mehr Tieren statistisch abgesicherte Werte garantiert hätten. Dazu bedarf es vermutlich großer Tierzahlen.

Zulässige Höchstwerte für die Beurteilung der radioaktiven Kontamination von Lebensmitteln fehlen. Ihre Beurteilung orientiert sich deshalb an der MZK (Maximal zulässige Konzentration) - Werten, die sich aus den für beruflich strahlenexponierten Personen in Trinkwasser geltenden Konzentrationen ableiten, indem diese für die Durchschnittsbevölkerung auf 1/3 reduziert und ihrer

Berechnung dabei eine Nahrungsaufnahme von 2,2 kg pro Tag und Person zugrunde gelegt werden. Bei Lebensmitteln tierischer Herkunft scheint dieses Vorgehen durchaus vertretbar, da sie i. d. R. einen hohen Wassergehalt aufweisen. Er liegt in Milch bei $\sim 88\%$, in Fleisch bei $\sim 75\%$.

Die MZK für das Radionuklid ^{65}Zn beträgt $10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}$ bzw. $1 \mu\text{Ci}$ pro Liter (104).

Daraus errechnet sich unter Zugrundelegung einer täglichen Nahrungsaufnahme von 2,2 kg eine maximal zulässige tägliche ^{65}Zn -Zufuhr mit der Nahrung von $2,2 \mu\text{Ci}$. In einzelnen Lebensmittel zu tolerierende maximal zulässige ^{65}Zn -Konzentrationen ergeben sich dann anteilmäßig aus ihrem Beitrag an der Gesamtnahrung.

1972 wurden in der BRD pro Kopf der Bevölkerung 72,9 kg Fleisch verzehrt, davon 7,8 kg Geflügelfleisch, d. h., daß bei einer täglichen Nahrungsaufnahme von 2.200 g 200 g der Nahrung aus Fleisch bzw. 21 g aus Geflügelfleisch bestehen. Der Anteil des Fleisches an der Gesamtnahrung beträgt damit etwa 11% , der von Geflügelfleisch knapp 1% (103).

Geht man von der hypothetischen Annahme einer gleichmäßigen ^{65}Zn -Konzentration für alle Lebensmittel aus, dürfte die täglich verzehrte Menge Fleisch (200 g) nicht mehr als $0,2 \mu\text{Ci}$ ^{65}Zn oder $1,0 \mu\text{Ci}$ $^{65}\text{Zn}/\text{kg}$ Fleisch enthalten; die entsprechenden Werte für Geflügelfleisch liegen bei $0,021 \mu\text{Ci}$ (21 g) bzw. $1,0 \mu\text{Ci}/\text{kg}$ Geflügelfleisch.

Vergleicht man die unter diesen Prämissen anhand der MZK errechneten in Fleisch tolerierbaren ^{65}Zn -Konzentrationen mit den in Fleisch und Organen der untersuchten Hähne und Hennen gefundenen Aktivitäten, so wird offensichtlich, daß Geflügel schon sehr viel ^{65}Zn aufnehmen müßte, bis das Fleisch Aktivitäten in der Nähe der ^{65}Zn -MZK aufweisen würde. Die Tiere dürften dann, wie auch aus den Untersuchungen von KAUFMANN (40) gefolgert werden kann - er hatte Hennen und Hähnen pro kg Körper-

gewicht 0,32 μCi ^{65}Zn oral in einmaliger Applikation verabreicht - aller Wahrscheinlichkeit nach an Symptomen einer Strahlenschädigung laborieren, die ihre Verwendung als Lebensmittel a priori in Frage stellen würden, zumal sie in derartigen Situationen auch noch andere Radionuklide als ^{65}Zn in zum Teil erheblich höheren Konzentrationen aufgenommen haben.

Fleisch von Tieren nach Kernreaktionen weist deshalb außer ^{65}Zn auch noch andere Radionuklide auf, insbesondere ^{137}Cs . Von ihm muß aufgrund bisher vorliegender Untersuchungen angenommen werden, daß es die gesundheitliche Unbedenklichkeit von Fleisch limitiert.

Fleisch von Rindern, die nach Einstellung der Kernwaffenexperimente auf dem Testgelände in Nevada einige Zeit dort geweidet hatten, wies ^{65}Zn -Aktivitäten auf, die rund 45 % seiner ^{137}Cs -Kontamination betrug, obwohl dort unter der konzentrierten unmittelbaren Einwirkung bei diesen Experimenten freigesetzter Neutronenstrahlung mit höheren ^{65}Zn -Aktivitäten gerechnet werden muß als bei einer Kontaminierung durch den weltweiten Fallout aus Kernwaffenexperimenten.

Die höchsten bisher in Fleisch ermittelten ^{65}Zn -Aktivitäten wurden in der Muskulatur von Rindern aus 30 Meilen unterhalb des Hanford-Reaktors am Columbia-River gelegenen landwirtschaftlichen Betrieben gemessen, die mit Futter, das auf mit Wasser aus dem Columbiafluß irrigierten Flächen wuchs, ernährt worden waren. Die dauernde Berieselung hatte dort vermutlich zu einer ^{65}Zn -Anreicherung in Boden und Pflanzen geführt, wie sie als Folge der Umweltkontamination durch den Fallout von Kernwaffenexperimenten oder in der Nähe kerntechnischer Anlagen bisher nicht beobachtet werden konnte. ^{65}Zn fällt allerdings im Reaktorbetrieb im allgemeinen nur in geringen Konzentrationen an.

Geflügelfleisch dürfte auch in atomaren Krisensituationen kaum ^{65}Zn -Konzentrationen erreichen, die eine gesundheitliche Maßregelung dieses Lebensmittels erforderlich machen; wenn, dann scheiden die Tiere bereits

vorher entweder aufgrund eines durch die Gesamtheit aller aufgenommenen oder auf sie einwirkender Radionuklide bewirkten Strahlensyndroms als Lebensmittel aus oder das Fleisch ist allein schon aufgrund seines ^{137}Cs -Gehaltes als untauglich für den menschlichen Genuß zu beurteilen.

Die relativ kurze biologische Halbwertszeit des ^{65}Zn in der Muskulatur des Geflügels verhindert eine ^{65}Zn -Akkumulierung wie in Fleisch von Rindern und anderen schlachtbaren Haustieren. Außerdem wird der Großteil des Schlachtgeflügels, bevor es im Fleisch zur maximalen ^{65}Zn -Anreicherung kommen kann, geschlachtet.

Geflügelfleisch - die Organe sind als Lebensmittel nur von untergeordneter Bedeutung - dürfte deshalb ein relativ ^{65}Zn -armes Lebensmittel darstellen, das zudem auch rascher und unter leichter kontrollierbaren Bedingungen erzeugt werden kann als anderes Fleisch. Die Produktion von Geflügelfleisch bietet sich in Krisenzeiten direkt an, da Hühnerfutter durch einfache Maßnahmen verhältnismäßig leicht vor einer radioaktiven Kontamination bewahrt werden kann, leichter jedenfalls als das Futter anderer Schlachttierspezies.

Zur Erfassung des ^{65}Zn -Gehaltes in Geflügel eignen sich, wie die biologischen Halbwertszeiten des ^{65}Zn in den Körpergeweben zu erkennen geben, in den ersten Tagen der ^{65}Zn -Kontaminierung die Organe, später die Speicherewebe.

Für die ^{65}Zn -Kontrolle von Geflügel wird deshalb vorgeschlagen, in der Ringschale anfangs die Gesamtheit aller Organe, später das Fleisch oder die Knochen γ -spektrometrisch auf ihren Gehalt an ^{65}Zn zu untersuchen.

Die γ -Spektrometrie erlaubt darüberhinaus ohne chemische Analyse im Nativmaterial auch die gleichzeitige Bestimmung weiterer γ -Strahlen emittierender Radionuklide, insbesondere die von ^{137}Cs , das bekanntlich in der Muskulatur stärker als andere Radionuklide angereichert wird und das die gesundheitliche Unbedenklichkeit von Fleisch limitierende Radionuklid darstellt.

F. ZUSAMMENFASSUNG

1. Das Schrifttum über Biozyklus und physiologisches Verhalten von ^{65}Zn und Zink wurde referiert.
2. In Vorversuchen mit 22 weißen Leghorn(hyline)-Hähnen wurden Fragen des Versuchsablaufes, der Aufbereitung des Probenmaterials, der ^{65}Zn -Dosierung und der Meßtechnik abgeklärt.
3. Im Hauptversuch wurden je 22 Hähnen und Hennen derselben Rasse innerhalb von 9 Tagen in 48stündigem Abstand maximal 5 Einzeldosen von jeweils $0,08 \mu\text{Ci } ^{65}\text{Zn/kg}$ Körpergewicht oral verabreicht; 3 Hähne und 3 Hennen dienten als Kontrollen. Die Tiere waren ca. 46 Wochen alt; das Gewicht der Hähne betrug 2,7 kg, das der Hennen 2,1 kg.
4. Die Bestimmung des ^{65}Zn erfolgte γ -spektrometrisch.
5. Von den Hähnen wurden maximal 11 % (5. Versuchstag), von den Hennen maximal 4 % (10. Versuchstag) des verabreichten ^{65}Zn retiniert.
6. Während der ersten beiden Wochen der 73tägigen Versuchsdauer wiesen Organe, insbesondere Leber, Pankreas und Nieren hohe, Knochen, Muskulatur und Haut dagegen niedrige ^{65}Zn -Aktivitäten auf. Gegen Ende des Versuches wurden in Knochen, Muskulatur und Haut hohe, in Organen niedrige ^{65}Zn -Aktivitäten angetroffen. Mit Ausnahme der Knochen enthielten im Vergleich zu den Hennen Organe und Gewebe von Hähnen nicht nur höhere, sondern auch stärker schwankende ^{65}Zn -Aktivitäten.

7. Im Verteilungsmuster des ^{65}Zn im Organismus von Hahn und Henne bestehen zwar gewisse Unterschiede, der prozentuale Anteil der Organe an der Gesamt- ^{65}Zn -Körperaktivität betrug jedoch zu Versuchsbeginn bei Hahn und Henne etwa 70 % und fiel bis zu Versuchsende auf etwa 20 %. Im gleichen Maße erhöhte sich der Anteil der ^{65}Zn -Aktivität in den Geweben von anfänglich 30 % auf 80 % gegen Ende des Versuches.
8. Die biologischen Halbwertszeiten der untersuchten Organe und Gewebe eines Organismus variierten erheblich; zwischen Hähnen und Hennen bestanden zum Teil stärkere Unterschiede. Die kürzesten biologischen Halbwertszeiten wurden beim Hahn mit 4 Tagen in den Geschlechtsorganen (Hoden), bei der Henne mit 3 Tagen im Darm ermittelt, die längsten beim Hahn mit 70 Tagen in der Rumpf- und bei Hennen mit 63 Tagen in der Extremitätenmuskulatur.
9. In Geflügelfleisch dürfte ^{65}Zn auch in atomaren Krisenzeiten kaum gesundheitlich bedenkliche, d. h. im Bereich seiner MZK liegende Konzentrationen erreichen. Dies erscheint für andere Radionuklide, insbesondere ^{137}Cs , wahrscheinlicher.

G. SUMMARY

1. The literature about the biological cycle and the physiological properties of Zn and its isotope ^{65}Zn was reported.
2. By pilot tests with 22 cockerels of White Leghorn (Hyline) the reproducibility of the tests, the preparation of the test material, ^{65}Zn dosis and measuring technics were discussed.
3. For the main experiment 22 cockerels and 22 hens were taken, every animal 46 weeks old. A maximum of 5 single doses ($0,08 \mu\text{Ci } ^{65}\text{Zn/kg}$ body weight each) was given orally within 9 days in 48 hour intervals. 3 cockerels and 3 hens were used as controls. The mean weight of the cockerels was 2,7 kg, that of the hens 2,1 kg.
4. The isotope ^{65}Zn was measured by γ -spectrometry.
5. At the 5th test day cockerels showed residues of maximally 11 %, whereas at the 10th test day hens retained only 4 % of the ^{65}Zn applicated.
6. During the first two weeks of the 73 days test period organs, especially liver, pancreas and kidneys showed high ^{65}Zn activities, whereas in bones, muscles and skin low ^{65}Zn activities were observed.
As compared to hens the organs and tissues of cockerels - with exception of the bones - regularly contained not only higher but also more oscillating ^{65}Zn activities.
7. However at the beginning of the test period in both hens and cockerels the parenchymas contained up to 70 % of the total ^{65}Zn activity, which decreased to only 20 % towards the end of the experiment.

Vice versa the ^{65}Zn activity of the remainder tissues increased from 30 % at the beginning to 80 % towards the end of the test period.

8. The biological half life period of the examined parenchymas and tissues of an organism varied considerably. The shortest biological half life period measured was 4 days in the testicles of cockerels and 3 days in the intestines of hens; the longest biological half life period measured was 70 days in the trunk muscles of cockerels and 63 days in the limb muscles of hens.
9. In an atomic emergency poultry meat might not achieve the upper limit of ^{65}Zn concentrations, which is injurious to human health. These conditions are more probably for other radionuclides, especially for ^{137}Cs .

H. LITERATURVERZEICHNIS

1. ANDRASI, A., and J. FEHER:
Measurement of the retention and excretion of
incorporated ⁶⁵Zn.
Health Phys. 13 (1967), 915;
2. BLAMBERG, D. L., U. B. BLACKWOOD, W. C. SUPPLEE
and G. F. COMBS:
Effect of Zinc deficiency in hens on hatchability
an embryonic development.
Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 104 (1960), 217;
3. BOROUGHS, H., W. A. CHIPMAN and T. R. RICE:
The effects of atomic radiation on oceanography
and fisheries.
National Academy of Sciences -
National Research Council, Washington 1957;
4. BRINK, M. P., D. E. BECKER, S. W. TERILL and
A. H. JENSEN:
Zinc toxicity in the weanling pig.
J. Anim. Sci. 18 (1959), 836;
5. BRYAN, G. W.:
Zinc concentrations in fast and slow contracting
muscles in the lobster.
Nature (London) 213 (1967), 1043;
6. Von BUDDENBROCK, W.:
Vergleichende Physiologie.
Birkhäuser Verlag, Basel, Stuttgart 1956;
7. CASSENS, R. G., E. J. BRISKEY and W. G. HOEKSTRA:
Variation in Zinc content and other properties of
various porcine muscles.
J. Sci. Food Agr. 14 (1963), 427;

8. COHN, S. H., R. A. LOVE and E. A. GUSMANO:
 ^{65}Zn in reactor workers.
Science 133 (1961), 1362;
9. COMAR, C. L., and F. BRONNER:
Mineral metabolism.
Academic Press, New York, London 1964;
10. CONARD, R. A., and A. HICKING:
Medical findings in Marshallese people exposed
to fallout radiation.
Results from a ten year study.
J. Am. Med. Ass. 192 (1965), 457;
11. CROUTHAMEL, C. E.:
Applied gamma ray spectrometry.
Pergamon Press, Oxford, London, New York, Paris 1960;
12. DAHME, E., und E. WEISS:
Grundriß der speziellen pathologischen Anatomie
der Haustiere.
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1968;
13. DENZLER, B., und P. KIENZLE:
Tiergesundheitslehre.
Ulmer Verlag, Stuttgart 1969;
14. Van DILLA, M. A., G. R. FARMER and V. R. BOHMANN:
Fallout radioactivity in cattle and its effects.
Science 133 (1961), 1075;
15. DIXON, M., and E. C. WEBB:
Enzymes.
Longmanns, Green & Co., London 1966;
16. DUIVENSTIJN, A. J., und A. J. VENVERLOO:
Praktische Gammasspektrometrie.
Centrex Verlag, Mindhoven 1964;

17. EDWARDS, H. M., Jr.:
The effect of protein source in the diet on ^{65}Zn
absorption and excretion by chickens.
Poult. Sci. 45 (1966), 421;
18. EWING, R. W.:
Poultry nutrition.
Ray Ewing Company, Pasadena, California 1963;
19. FASSBENDER, H.:
Einführung in die Meßtechnik der Kernstrahlung
und die Anwendung der Radioisotope.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1962;
20. FEASTER, J. P., S. L. HANSARD, J. T. Mc'Call,
F. H. SKIPPER and G. K. DAVIS:
Absorption and tissue distribution of Radiozinc
in steers fed high-Zinc rations.
J. Anim. Sci. 13 (1954), 781;
21. FITZGERALD, B. W., J. S. RANKIN and D. M. SKAUFEN:
 ^{65}Zn levels in oysters in the Thames river (Connecticut).
Science 135 (1962), 926;
22. FLASCHENTRÄGER, B., und E. LEHNARTZ:
Physiologische Chemie.
Springer Verlag, Berlin 1951;
23. FOSTER, R. F., and J. F. HONSTEAD:
Accumulation of ^{65}Zn from prolonged consumption
of Columbia river fish.
Health Phys. 13 (1967), 39;
24. FRIEDLÄNDER, G., und J. W. KENNEDY:
Lehrbuch der Kern- und Radiochemie.
Thiemig Verlag, München 1962;

25. FÜNFER, E., und H. NEUERT:
Zählrohre und Szintillationszähler.
Braun Verlag, Karlsruhe 1959;
26. GARNER, R. J.:
Veterinary toxicology.
Bailliere, Tindall and Cox, London 1957;
27. GILBERT, I. G. F., and D. M. TAYLOR:
The behaviour of Zn and Radiozinc in the rat.
Biochem. Biophys. Acta 21 (1956), 545;
28. GRAY, L. F., and G. H. ELLIS:
Some interrelationships of Copper, Molybdenum, Zinc
and Lead in the nutrition of the rat.
J. Nutr. 40 (1950), 441;
29. GROSSFELD, J.:
Handbuch der Eierkunde.
Springer Verlag, Berlin 1938;
30. GUNN, S. A., and T. C. GOULD:
The relative importance of androgen and estrogen in
the selective uptake of ⁶⁵Zn by the dorsolateral
prostate of the rat.
Endocrinology 58 (1956), 443;
31. GUSTAFSON, P. F., L. D. MARINELLI and S. S. BRAR:
Measurement of gamma ray emitting elements present
in soil.
ANL - 5829 (1957);
32. HAARANEN, S.:
Some observations on the Zn requirement of cattle
for the prevention of itch and hair licking at
different Ca levels in the food.
Nord. Veterinaer. Med. 15 (1963), 536;

33. HANLE, W.:
Isotopentechnik.
Thiemig Verlag, München 1964;
34. HETH, D. A., and W. G. HOEKSTRA:
 ^{65}Zn absorption and turnover in rats.
J. Nutr. 85 (1965), 367;
35. HOCK, A.:
Vergleichende Ernährungslehre des Menschen und
seiner Haustiere.
G. Fischer Verlag, Jena 1966;
36. HOEKSTRA, W. G.:
Recent observations on mineral interrelationships.
Fed. Proc. 1/23 (1964), 1068;
37. HONSTEAD, J. F., and P. W. HILDEBRANDT:
Uptake and retention of ^{65}Zn from certain foods.
Health Phys. 13 (1967), 649;
38. JAAKOLA, T.:
 ^{55}Fe in Lapps and Southern Finns and their diet.
4th R. I. S. - Symposium, Oslo, Oktober 1967;
39. KARLSON, P.:
Kurzes Lehrbuch der Biochemie.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1967;
40. KAUFMANN, G. v.:
Untersuchungen über Aufnahme, Verteilung, Verweil-
dauer und Ausscheidung von ^{65}Zn in Hennen und Hähnen.
Diss. med. vet., München 1972;
41. KASABATA, T.:
Radiological contamination of fishes.
Kagaku 24 (1954), 611;

42. KECK, G., und W. KROCZA:
Zur Messung von ^{137}Cs in Rindfleisch nach der Ring-
schalenmethode.
Zbl. Vet. Med. B, Beiheft 11 (1968), 116;
43. KERNKAMP, H. C., and E. F. FERRIN:
Parakeratosis in swine.
J. Am. Vet. Med. Ass. 123 (1953), 217;
44. KIENHOLZ, E. W., D. E. TURK, M. L. SUNDE and
W. G. HOEKSTRA:
Effects of Zn deficiency in the diets of hens.
J. Nutr. 75 (1961), 211;
45. KLEIN, W.:
Verschiedene Verfahren der Impulshöhenanalyse.
Mitteilungsblätter "Strahlenmeßgeräte"
Friesecke und Hoepfner, Erlangen 6 (1965), 53;
46. KLUSSENDORF, R. C., and J. PENSACK:
Newer aspects of Zn metabolism.
J. Am. Vet. Med. Ass. 132 (1958), 446;
47. KREUZER, W.:
Zum Einfluß von Haltung und Fütterung auf die
Kontamination des Fleisches von Rindern mit ^{137}Cs
und zur Methodik ihrer Feststellung.
Zbl. Vet. Med. B 12 (1965), 592;
48. KREUZER, W.:
The radioactive contamination of meat.
Unveröffentlichte Mitteilung;
49. LEGG, S. P., and L. SEARS:
Zinc sulphate treatment of parakeratosis in cattle.
Nature (London) 186 (1960), 1061;

50. LEIBETSEDER, J., M. SKALICKY, A. KMENT,
H. NIEDERMÜLLER und G. HOFECKER:
Über den Zinkstoffwechsel beim Schwein.
Wien. tierärztl. Mschr. 58 (1971), 49;
51. LUDWIG, F.:
Radioaktive Isotope in Futter- und Nahrungsmitteln.
Thiemig Verlag, München 1962;
52. MARTIN, W. G., and H. PATRICK:
Radionuclide mineral studies 3:
The effect of breed and dietary Zinc, Calcium and
Vit. D₃ on the retention of ⁶⁵Zn in chicks.
Poult. Sci. 40 (1961), 1004;
53. MEADOWS, D., D. MEADOWS, E. ZAHN und P. MILLING:
Die Grenzen des Wachstums.
Rowohlt Verlag, Reinbeck bei Hamburg 1973;
54. MEHRING, A. I., Jr., J. H. BRUMBAUGH and H. W. TITUS:
A comparison of the growth of chicks, fed diets
containing different quantities of Zinc.
Poult. Sci. 35 (1956);
55. MILLER, J. K., and R. G. CRAGLE:
Gastrointestinal sites of absorption and endogenous
secretion of Zinc in dairy cattle.
J. Dairy Sci. 48 (1965), 370;
56. MILLER, W. J., D. M. BLACKMAN, G. W. POWELL,
R. G. GENTRY and J. M. HIERS, Jr.:
Effects of Zinc deficiency per se and of dietary
Zinc level on urinary and endogenous fecal excretion
of ⁶⁵Zn from a single intravenous dose by ruminants.
J. Nutr. 90 (1966), 335;

57. MORRISON, A. B., and H. P. SARETT:
Studies of Zinc deficiency in the chickens.
J. Nutr. 65 (1958), 267;
58. MURTHY, G. K., A. S. GOLDIN and J. E. CAMPBELL:
⁶⁵Zn in foods.
Science 130 (1959), 1255;
59. OBERLEAS, D., M. E. MUHRER, B. L. O'DELL and
L. D. KINTNER:
Effects of phytic acid on Zinc availability in
rats and swine.
J. Anim. Sci. 20 (1961), 945;
60. O'DELL, B. L., and J. E. SAVAGE:
Effect of phytic acid on Zinc availability.
Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 103 (1960), 304;
61. PALLAUF, J., und M. KIRCHGESSNER:
Alimentärer Zinkmangel beim Tier.
Vet. Med. Nachrichten 1972, H. 4, 321;
62. PARIZEK, J.:
Sterilization of the male by Cadmium salts.
J. Reprod. Fert. 1 (1960), 294;
63. PATE, F. M., W. J. MILLER, D. M. BLACKMON and
R. P. GENTRY:
⁶⁵Zn absorption rate following single duodenal dosing
in calves fed Zinc deficient or control diets.
J. Nutr. 100 (1970), 1259;
64. PERKINS, R. W., and J. M. NIELSEN:
⁶⁵Zn in foods and people.
Science 129 (1959), 94;

65. PERKINS, R. W., J. M. NIELSEN, W. C. ROESCH and
R. C. McCALL:
⁶⁵Zn and ⁵¹Cr in foods and people.
Science 132 (1960), 1895;
66. PERSIGHEHL, M., A. HÖCK, K. KASPAREK, E. LAND und
L. E. FEINENDEGEN:
Änderung der Zinkkonzentration bei verschiedenen
Stoffwechselsituationen.
Z. klin. Chem. klin. Biochem. 12 (1974), 171;
67. PFLANZAGL, J.:
Allgemeine Methodenlehre der Statistik II.
Götschen Bd. 747/747 a
Walter de Gruyter & Co., Berlin 1966;
68. PLESCH, R.:
Statistik und Wahrscheinlichkeit in der Strahlungs-
meßtechnik.
G - I - T - Fachzeitschrift für das Laboratorium
9 (1965), 430;
69. POTEL, K.:
Pathologische Physiologie der Haustiere.
G. Fischer Verlag, Stuttgart 1970;
70. POWELL, G. W., W. J. MILLER, J. D. MORTON and
C. M. CLIFTON:
Influence of dietary Cadmium level and supplemental
Zinc on Cadmium toxicity in the bovine.
J. Nutr. 84 (1964), 205;
71. PRASAD, A. S.:
Zn metabolism.
Thomas, Springfield, Illinois 1966;

72. RICHMOND, C. R., J. E. FURCHNER, G. A. TRAFTON
and W. H. LANGHAM:
Comparative metabolism of radionuclides in mammals.
Health Phys. 8 (1962), 481;
73. ROBERSON, R. H., and P. I. SCHAIBLE:
The tolerance of growing chicks for high levels of
different forms of Zn.
Poult. Sci. 39 (1960), 839;
74. ROSENBERGER, G.:
Krankheiten des Rindes.
Paul Parey Verlag, Berlin, Hamburg 1970;
75. RUBINI, M. E., G. MONTALVO, C. P. LOCKHART and
C. R. JOHNSON:
Metabolism of ^{65}Zn .
Health Phys. 6 (1961);
76. SAHAGIAN, B. M., I. HARDING-BARLOW and H. M. PERRY, Jr.:
Uptake of Zinc, Manganese, Cadmium and Mercury by
intact strips of rat intestine.
J. Nutr. 90 (1966), 259;
77. SAHAGIAN, B. M., I. HARDING-BARLOW and H. M. PERRY, Jr.:
Transmural movements of Zinc, Manganese, Cadmium and
Mercury by rat small intestine.
J. Nutr. 93 (1967), 291;
78. SCHEUNERT, A., und A. TRAUTMANN:
Lehrbuch der Veterinärphysiologie.
Paul Parey Verlag, Berlin 1965;
79. SCHMEISER, K.:
Radioaktive Isotope.
Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1957;

80. SCHNEIDER, T., und H. MUNZEL:
Zur Analyse einfacher und komplexer Gammaspektren.
Atompraxis 7 (1961), 412;
81. SCHWIEGK, H.:
Künstlich radioaktive Isotope in Physiologie,
Diagnostik und Therapie.
Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1953;
82. SCOTT, M. L., and T. R. ZEIGLER:
Evidence for natural chelates, which aid in the
utilization of Zinc by chicks.
J. Agr. Food Chem. 11 (1963), 123;
83. SKORYNA, S. C., and D. WALDRON-EDWARD:
The intestinal absorption of Zinc.
Pergamon Press, Oxford, New York, Toronto, Sydney,
Braunschweig 1971;
84. SPENCER, H., and B. ROSSOFF:
Effect of chelating agents on the removal of
 ^{65}Zn in man.
Health Phys. 12 (1966), 475;
85. SUPPLEE, W. C.:
Antagonistic relationships between dietary Cadmium
and Zinc.
Science 139 (1963), 119;
86. SUSO, F. A., and H. M. EDWARDS, Jr.:
A study of techniques for measuring ^{65}Zn absorption
and biological half life in the chicken.
Poult. Sci. 47 (1968), 991;
87. SWIFT, C. E., and M. D. BERMAN:
Factors affecting the water retention of beef.
Food Technol. 13 (1959), 365;

88. TAHARA, S., J. IDIA, K. SHOJI and K. ASO:
Effects of high levels of different forms of Zinc
on growth of chicks.
Jap. J. Zootechn. Sci. 33 (1962), 304;
89. TUCKER, H. F., and W. D. SALMON:
Parakeratosis or Zinc deficiency disease in the pig.
Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 88 (1955), 613;
90. TURK, D. E., M. L. SUNDE and W. G. HOEKSTRA:
Zinc deficiency experiments with poultry.
Poult. Sci. 38 (1959), 1256;
91. TURK, D. E., and J. F. STEPHENS:
Effect of intestinal damage produced by Eimeria
Necatrix infection in chicks upon absorption of
orally administered ⁶⁵Zn.
J. Nutr. 88 (1966), 261;
92. UNDERWOOD, E. J.:
Trace elements in human and animal nutrition.
Academic Press, New York, London 1971;
93. VALLEE, B. L., and J. G. GIBSON:
The Zinc content of normal whole blood,
plasma, leucocytes and erythrocytes.
J. Biol. Chem. 176 (1948), 445;
94. VALLEE, B. L.:
Biochemistry, physiology and pathology of Zinc.
Physiol. Rev. 39 (1959), 443;
95. Van Der WAERDEN, B. L.:
Mathematische Statistik.
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1971;

96. WEGENER, K. H.:
Radioaktivität und Veterinärmedizin.
Paul Parey Verlag, Berlin, Hamburg 1966;
97. WEITZEL, G.:
Chemie und Physiologie biogener Zinkverbindungen.
Z. angewandte Chemie 68 (1956), 566;
98. WEITZEL, G., und T. SPEHR:
Zink-Komplexe von Purinen, Nucleosiden und
Nucleotiden.
Z. physiol. Chemie 313 (1958), 212;
99. WEITZEL, G., H. KÖNIG, G. BENWITZ und P. WAHL:
Hemmeffekte von Zink, Persauerstoff und Alkylierungs-
mitteln im Acetylierungstest.
Z. physiol. Chemie 316 (1959), 267;
100. WELANDER, A. D.:
Radiobiological studies of the fish collected at
Rangelap and Ailinginae Atolls, July 1957.
U. S. A.-Bericht, UWFL - 55 (1958);
101. WOLFF, H. P.:
Untersuchungen zur Pathophysiologie des Zink-
stoffwechsels.
Klin. Wschr. 34 (1956), 409;
102. YATAZAWA, M.:
Radioactive contamination of plants in Japan
covered with rain-out from H-bomb detonations
in March-May 1954 at Bikini Atoll, Marshall-Island.
Soil and Plant Food (Tokio) 1 (1955), 23;
103. N. N.:
Ernährungsbericht 1972
Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V.
Frankfurt a. M.

104. N. N.:

Report of committee 2, on permissible dose for
internal radiation,

ICRP-Publikation Nr. 2

Pergamon Press, Oxford, London, New York 1959;

Herrn Priv. Doz. Dr. W. Kreuzer danke ich für die Überlassung des Themas. Er förderte diese Arbeit durch seinen Rat und seine Unterstützung.

Ebenso danke ich Herrn Dr. P. Wißmath für seine zahlreichen Hinweise und Herrn H. Lassal für die technische Unterstützung.

L E B E N S L A U F

Am 16. Dezember 1944 wurde ich, Egon-Robert Schwarz, als Sohn des Tierarztes Dr. med. vet. Robert Schwarz und seiner Ehefrau Liselotte, geb. Mühleck, in Ellwangen/Jagst geboren.

Von 1950 bis 1954 besuchte ich die Grundschule in Ellwangen/Jagst, anschliessend das Peutinger-Gymnasium in Ellwangen/Jagst, wo ich 1964 das Abitur ablegte.

Im April 1964 begann ich mit dem Studium der Veterinärmedizin an der Ludwig-Maximilian-Universität München. Dort legte ich im Juli 1966 die tierärztliche Vorprüfung ab. Das tierärztliche Staatsexamen beendete ich in München am 1. Dezember 1969.

Die Bestallung als Tierarzt wurde am 11. Februar 1970 erteilt.

Seit Sommer 1972 arbeitete ich an vorliegender Dissertation. Daneben bin ich zeitweilig in der tierärztlichen Praxis meines Vaters in Ellwangen tätig.

